

**Резюмета на публикациите на доц. д-р инж. Мария Петрова
Александрова-Пандиева на български и английски език,**

представени за участие в конкурс за заемане на академична длъжност
„професор“ в област на висше образование 5. Технически науки,
професионално направление 5.2 Електротехника, електроника и автоматика,
научна специалност „Технология на електронното производство (по
отрасли)“, обявен в Държавен вестник, брой 101/27.11.2025 г.

Група „В“

B.1. Aleksandrova, M., Kurtev, N., Pandiev, I., Effect of MXene Nanosheet Sticking on Supercapacitor Device Performance, *Applied Sciences (Switzerland)*, **2024**, 14(6), 2452, ISSN: 2076-3417 (IF 2.5, Q2)

Supercapacitors have garnered significant interest in recent years due to their high power density, rapid charge/discharge rates, and long cycle life. MXenes, a family of two-dimensional (2D) transition metal carbides/nitrides, have emerged as promising electrode materials for supercapacitors. However, one major challenge associated with incorporating MXenes in supercapacitor structures is the occurrence of sticking, wherein individual MXene flakes agglomerate, leading to reduced electrode performance. This review paper discusses various causes of sticking and approaches to preventing it, offering insights into the design and development of high-performance MXene-based supercapacitors. The morphology and size of MXene flakes, flake surface chemistry, thickness, surface area/volume ratio, electrode processing techniques (including solvent selection, additives incorporation, and deposition technology), and environmental factors were shown to be the basic factors resulting in sticking of MXene sheets. Among the strategies to mitigate this challenge, surface functionalization and passivation, integration with polymer matrices or carbon nanomaterials, and electrode processing optimization were considered. Possible paths for optimization and future directions of study, such as novel MXene compositions, understanding of interfaces and electrode–electrolyte interactions, development of advanced electrode architectures, and integration of energy storage systems, were assumed.

Суперкондензаторите привличат значителен интерес през последните години поради тяхната висока плътност на мощността, висока скорост на зареждане/разреждане и дълъг експлоатационен живот. MXen-ите (максените), семейство от двумерни (2D) преходни метални карбиди/нитриди, се утвърдиха като обещаващи електродни материали за суперкондензатори. Въпреки това, едно основно предизвикателство, свързано с включването на максени в структурите на суперкондензаторите, е появата на слепване, при което отделните максенови люспи се агломерират, което води до намалена производителност на електрода. Изследвани са причини за слепването и подходите за неговото предотвратяване, предлагайки идеи за проектирането и разработването на високопроизводителни суперкондензатори на базата на максени. Морфологията и размерът на максеновите люспи, химията на повърхността им, дебелината, съотношението

повърхност/обем, техниките за обработка на електродите (включително избор на разтворител, добавяне на примеси и технология на отлагане) и параметрите на околната среда са посочени като основните фактори, водещи до слепване на максеновите листове. Сред стратегиите за смекчаване на това предизвикателство са разгледани повърхностната функционализация и пасивация, интегрирането с полимерни матрици или въглеродни наноматериали, както и оптимизацията на обработката на електродите. Предположени са възможни пътища за оптимизация и бъдещи насоки на изследване, като нови състави на максени, контрол на процесите, протичащи на преходите и взаимодействията електрод-електролит, разработване на усъвършенствани електродни архитектури и интегриране на системи за съхранение на енергия.

B.2. Aleksandrova, M., Pandiev, I., Printed Piezoelectric Harvester for Integration in a Wearable Energy Storage Device, Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, ISSE 2024, 15 May 2024-19 May 2024, Prague, Czech Republic, ISSN: 2161-2528 (SJR 0.176, Q4)

This study showcases a printed flexible piezoelectric energy harvester with PVDF-TrFE and silver electrode, organized as a double-sided coating onto the polyethylene terephthalate (PET) substrate, thus forming the front side electrode for the PENG and backside electrode for a storage thin film element. A dielectric film of Al_2O_3 and the top electrode of poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)(PEDOT:PSS)/ graphene composite are applied by printing, realizing layer-by-layer assembly. The capabilities of the energy harvesting devices were characterized by a one-point eclipsed bending test, and the experimental results are presented to substantiate the potential utility of the fabricated device. This method provides a more controlled and uniform loading scenario for accurate testing without dependence on the sample length. It was found that loading of 100 g/cm^2 produces a symmetric electrical signal with a magnitude of $\sim \pm 0.4 \text{ V}$ from a sample with an area of 2.5 cm^2 . This voltage is sufficient to drive the charging of a sample supercapacitor, which will be investigated further.

Настоящото изследване представя печатен гъвкав пиезоелектричен източник на енергия с фероелектричен полимер PVDF-TrFE и сребърен електрод, организиран като двустранно покритие върху гъвкава подложка от полиетилен терефталат (PET), като по този начин образува предния електрод за наногенератора и задния електрод за елемента за съхранение на тънкослоен елемент. Диелектричен слой от Al_2O_3 и горен електрод от композит на поли(3,4-етилендиокси-тиофен):поли(стиренсулфонатна киселина)(PEDOT:PSS)/графен се нанасят чрез ситопечат, реализирайки асемблирането на слоеве. Възможностите на устройствата за добив на енергия са характеризирани чрез тест за механично натоварване като е установено, че натоварване от 100 g/cm^2 произвежда симетричен електрически сигнал с големина около $\pm 0,4 \text{ V}$ от проба с площ $2,5 \text{ cm}^2$. Това напрежение е достатъчно за зареждане на суперкондензаторна структура.

B.3. Aleksandrova, M., Tsanev, T., Kadikoff, B., Alexandrov, D., Nedelchev, K., Kralov, I., **Piezoelectric Elements with PVDF–TrFE/MWCNT-Aligned Composite Nanowires for Energy Harvesting Applications, *Crystals*, 2023, 13(12), 1626, ISSN: 2073-4352 (IF 2.4 , Q2)**

A self-sustainable power supply function with flexibility, mechanical stability, and lightweight quality is among the required properties for pressure sensors and other low-power-consuming electronics and wearable devices. In this work, a poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene)/multi-walled carbon nanotube (P(VDF–TrFE)/MWCNT) composite was prepared to increase the electrical conductivity of the piezoelectric polymer and, thus, improve its electrical power generation capabilities. It was soaked by injection molding through an anodic aluminum oxide membrane to align vertically with the dipoles and exclude the possibility of dipole moment quenching. The composite membrane-type element exhibited an excellent piezoelectric coefficient d_{33} of 42 pC/N at a frequency of 50 Hz and an applied force intensity of 10 N, while the sensitivity was $\sim 375 \mu\text{V/g}$, which is favorable for self-powered pressure sensor application. The resulting composite element was utilized to generate the piezoelectric signal and to investigate the dependence of the electromechanical behavior on the surface roughness, morphology, and contact interface resistance.

Функцията за самообеспечаващо се хранване, съчетаваща гъвкавост, механична стабилност и ниско тегло, е сред необходимите свойства за сензори за налягане и друга електроника с ниска консумация на енергия, както и носими устройства. В настоящото изследване е синтезиран композит от поли(винилиден флуорид-трифлуороетилен)/многостенни въглеродни нанотръбички (P(VDF–TrFE)/MWCNT) с цел да се увеличи електрическата проводимост на пиезоелектричния полимер и по този начин да се подобри неговата способност за генериране на електрическа енергия. Процесът на импрегниране беше извършен чрез инжекционно формование през мембрана от аноден алуминиев оксид, за да се постигне вертикално подреждане на диполите и да се предотврати електронеутрализирането на диполния момент. Композитният мембранен елемент прояви отличен пиезоелектричен коефициент d_{33} от 42 pC/N при честота 50 Hz и приложена сила от 10 N, като чувствителността му беше около $375 \mu\text{V/g}$, което е благоприятно за приложения на сензори за налягане. Полученият композитен елемент беше използван за изследване на зависимостта на електромеханичното поведение от повърхностната грапавост, морфологията и контактното съпротивление на прехода.

B.4. Aleksandrova, M., Pandiev, I., Singh, A.K., **Implementation of 3ω Method for Studying the Thermal Conductivity of Perovskite Thin Films, *Crystals*, 2022, 12(10), 1326, ISSN: 2073-4352 (IF 2.4 , Q2)**

In this paper, an approach for precise determination of the thermal conductivity of novel lead-free perovskite thin films by 3ω method, realized with a field programmable analog array circuit, is presented. The objective of the work is to study the relation between the thermal conductivity of the photoelectric perovskites and the thermal stability of the solar cells, in which they are incorporated. It is found that the solar cells' long-term stability under different exploitation conditions, such as continuous illumination and elevated temperatures, is affected to a different

extent, according to the thermal conductivity. The developed setup for implementation of the 3ω method is adapted for thin-film samples and can be applied to all layers involved in the solar cell, thus defining their individual contribution to the overall device thermal degradation. According to the conducted measurements, the coefficients of thermal conductivity for the novel materials are as follows: for the iodine-based perovskite film, it is 0.14 W/mK and for the chlorine-based perovskite film, it is 0.084 W/mK. As a result, the thermal instability and degradation rate at continuous illumination are, respectively, 10.6% and 200 nV/min for the iodine-based perovskite solar cell, and 6.5% and 20 nV/min for the chlorine-based cell. At elevated temperatures up to 54 °C, the corresponding instability values are 15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ with a degradation rate of an average of 2.2 $\mu\text{V}/\text{min}$ for the cell with iodine-containing perovskite and 300 nV/°C with a degradation rate of 66 nV/min for the cell with chlorine-containing perovskite.

В настоящата статия се представя подход за прецизно определяне на топлопроводимост на нови безоловни перовскитни тънки слоеве чрез метода „ 3ω “, реализиран с помощта на програмируема аналогова матрица. Целта на изследването е да се изследва зависимостта между топлопроводимостта на фотоелектричните перовскити и термичната стабилност на слънчевите клетки, в които те са интегрирани. Установено е, че дългосрочната стабилност на клетките при различни условия на експлоатация, като непрекъснато осветление и повишени температури, се влияе в различна степен от топлопроводимостта. Разработената установка за прилагане на метода 3ω е адаптирана за тънкослойни проби и може да се приложи на всички слоеве, участващи в слънчевата клетка, като така се определя индивидуалният им принос към общата топлинна деградация на устройството. Според проведените измервания, коефициентите на топлопроводност за новите материали са следните: за перовскитния слой на основата на йод, той е 0,14 W/m.K, а за перовскитния слой на основата на хлор, е 0,084 W/mK. В резултат, термичната нестабилност и степен на влошаване при продължително непрекъснато осветяване са съответно 10,6% и 200 nV/min за слънчевата клетка на основата на йод, и 6,5% и 20 nV/min за клетката на основата на хлор. При повишени температури до 54 °C, съответстващите стойности на нестабилността са 15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ със скорост на влошаване от средно 2,2 $\mu\text{V}/\text{min}$ за клетката с перовскит на основата на йод и 300 nV/°C със скорост на влошаване от 66 nV/min за клетката с перовскит на основата на хлор.

B.5. Aleksandrova, M., Tudzharska, L., Nedelchev, K., Kralov, I., Hybrid Organic/Inorganic Piezoelectric Device for Energy Harvesting and Sensing Applications, *Coatings*, **2023**, 13(2), 464, ISSN: 2079-6412 (IF 2.9, Q2)

Novel hybrid organic/inorganic flexible devices with composite films, consisting of $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BST), were prepared by inserting BST nanocoating under spray deposited Poly-vinylidene fluoride-based co-polymer PVDF-TrFE. The study validated that the crystalline structure of BST remains unaffected by the presence of polymer. The 3D atomic force microscopic image of the composite sample confirmed the improved surface roughness and contact conditions after spraying the polymer. As a result, the hybrid sample exhibited a higher polarization current with reduced impedance and parasitic inductance. The enhancement of the stability of the piezoelectric

parameters at multiple bending was observed for the hybrid sample in comparison with the BST single film transducer. The drop of the root mean square (RMS) voltage was 70% after approximately 340,000 numbers of bending against less than 3% for the hybrid BST+PVDF-TrFE device. Due to the effect of the separate layers and summed net charges, the piezoelectric voltage of the hybrid device was competitive to the piezoelectric oxide films, despite the lower piezoelectric coefficient of the polymer. The proposed solution paves the path toward lead-free, wearable energy harvesting devices for low-power consuming electronic devices.

Нови хибридни органични/неорганични гъвкави устройства с композитни слоеве, състоящи се от $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ (BST), бяха изготвени чрез нанасяне на BST нанопокрития, формирани под пулверизиран пиезополимер PVDF-TrFE, на базата на поливинилиден дифлуорид. Изследването потвърди, че кристалната структура на BST остава неизменена под въздействието на полимера. 3D изображенията от атомно-силов микроскоп на композитната проба потвърди намалена грапавост на повърхността и подобряване на контактните условия на преходите след нанасяне на полимера. В резултат, хибридният образец показва по-висок поляризационен ток с намалени импеданс и паразитна индуктивност. Беше наблюдавано подобрене на стабилността на пиезоелектричните параметри при многократно огъване за хибридният образец в сравнение с еднослоен преобразувател на основата само на BST. За BST, намалението на средноквадратичната (RMS) стойност на напрежението беше 70% след приблизително 340,000 огъвания, в сравнение с по-малко от 3% за хибридно устройство BST+PVDF-TrFE. Поради влиянието на отделните слоеве и сумарните заряди, пиезоелектричното напрежение на хибридно устройство бе конкурентоспособно с пиезокерамичните оксидни слоеве, въпреки естествения по-нисък пиезомодул на полимера. Предложеното решение отваря пътя към развитие на безоловни носими структури за добив на енергия, предназначени за захранване на маломощни електронни устройства.

B.6. Tomov, R., Aleksandrova, M., Study of Lead-Free Perovskite Photoelectric Devices with TiO_2 as a Buffer Layer, *Sustainability*, 2022, 14(16), 10043, ISSN: 2071-1050 (IF 3.9, Q2)

In this work, a titanium oxide buffer layer was explored as a possible buffer electron transporting layer (ETL) with iodine-tin-based perovskite material for enhancement of a thin-film lead-free perovskite solar cell. The open-circuit voltage of the device was used as an indicator for the interface energy barrier's change with the thickness of the TiO_2 . The buffer and photoabsorbing layers were deposited by vacuum reactive sputtering and a low-temperature ion-assisted process from a confocal sintered source, respectively, allowing precise tuning of the film properties and reproducibility of the solar cell behavior. The surface roughness of the buffer layers was investigated by atomic force microscopy and together with the measured absorbance spectra conclusions about the optical losses in the device were made. It was found that the highest voltage was generated from the structure with 75 nm-thick ETL. The electrical behavior of the cell with this buffer layer was additionally studied by impedance measurements. Small interface capacitance and contact resistance were obtained and considered suitable for photodetector fabrication. The practical applicability of the structure with a dual function of self-powered photodetection was demonstrated by the measurement of the response time.

В настоящото изследване беше изследван титанов диоксид като възможен буферен слой за пренос на електрони (ETL) в комбинация с перовскитен материал на йодна основа, с цел подобряване на производството на безоловни тънкослойни перовскитни слънчеви клетки. Напрежението на отворена верига на устройството беше използвано като индикатор за промяната в енергийната бариера на прехода между слоевете в зависимост от дебелината на TiO_2 . Буферните и фотоабсорбиращите слоеве бяха нанесени чрез вакуумно реактивно разпрашване, адаптирано чрез нискотемпературен процес с йонно-асистирано конфокално разпрашване, което позволява прецизно настройване на свойствата на слоя и възпроизводимост на поведението на соларната клетка. Повърхностната грапавост на буферните слоеве беше изследвана с атомно-силова микроскопия и заедно с измерените спектри на абсорбция бяха направени заключения относно оптичните загуби в устройството. Установено беше, че най-високото напрежение е генерирано от структура с ETL с дебелина 75 nm. Електрическото поведение на клетката с този буферен слой беше допълнително изучено чрез импедансни измервания. Бяха получени малки стойности на преходните капацитети и контактни съпротивления, които се считат за подходящи за производство на фотодетектори. Практическата приложимост на структурата с двойна функция на самозахранващ се фотодетектор беше демонстрирана чрез измерване на времето за реакция.

B.7. Aleksandrova, M., Tomov, R., Vrublevsky, I., Study of Lead-Free Perovskite Solar Cells at Elevated Temperatures and UV Irradiation, 2022 31st International Scientific Conference Electronics, ET 2022 - Proceedings, Sozopol, 13 September 2022-15 September 2022, Sozopol, ISBN:978-1-6654-9879-1

In the present work, the change of the electrical performance is investigated for two lead-free perovskite materials with novel iodide-based and bromide-based compositions under different exploitation conditions, such as light-induced stress, elevated temperatures and ultraviolet light exposure. The charge transport properties are studied in more detail by spectroscopic methods for the cell with the iodide layer due to its greater stability, aiming to understand the degradation mechanism. The results show that this perovskite exhibited excellent stability at UV exposure and acceptable stability at continuous illumination at 600 nm. The device is stable up to 55 °C, when the photovoltage drops. Beyond this threshold temperature, a phase change transition occurs related to traps formation and charge carriers escaping, which affects the photovoltage and it slightly increases.

В настоящата работа се изследва промяната в електрическите характеристики на два безоловни перовскитни материала с нови състави на основата на йодиди и бромиди при различни условия на експлоатация, като стрес, индуциран от осветяване, повишени температури и излагане на ултравиолетова светлина. Преносът на токоносители е изследван по-подробно с помощта на спектроскопски методи само за клетката с йодидния слой, поради по-високата ѝ стабилност, с цел да се разбере механизмът на деградация. Резултатите показват, че този перовскит демонстрира отлична стабилност при излагане на UV светлина и приемлива стабилност при непрекъснато осветление с дължина на вълната 600 nm.

Устройството остава стабилно до 55 °C, когато фотоелектродвижещото напрежение започва да спада. След този граничен температурен праг настъпва фазов преход, свързан с образуването на дефекти („уловки“ за токоносителите) и освобождаването на токоносители от уловките, което влияе на фотонапрежението, което леко се увеличава.

B.8. Vrublevsky, I.A., Lushpa, N.V., Tuchkovsky, A.K., Aleksandrova, M.P., Bunevich, M.A., Applying Aniline for P-doping of PEDOT:PSS Films to Improve Their Conductivity and Efficiency of Perovskite Solar Cells, 2022 *31st International Scientific Conference Electronics, ET 2022 - Proceedings, 2022, Proceedings, Sozopol, 13 September 2022-15 September 2022, Sozopol, ISBN:978-1-6654-9879-1*

Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS) is responsible for hole extraction efficiency and hole transport in the perovskite solar cell structure. The inclusion of PSS reduces the conductivity of the PEDOT films, which inhibits hole transport and results in a low photo current of the perovskite solar cell. In this work, an aniline solution was used as an additive in the PEDOT: PSS thin film to increase electrical conductivity. Two different methods were used to incorporate the additive: surface and volume treatment. The results show that the surface treatment with aniline solution can significantly increase the conductivity of PEDOT:PSS film. Moreover, the photoconversion efficiency of the perovskite solar cell with such a PEDOT:PSS layer is increased 1.5 times compared to the untreated one.

Проводящият полимер PEDOT:PSS е отговорен за ефективността на извличане на дупки и преноса на дупки в структурата на перовскитната соларна клетка. Включването на полистиренсулфонатна киселина PSS намалява проводимостта на слоевете от PEDOT, което възпрепятства преноса на дупки и води до нисък фототок на перовскитната соларна клетка. В това изследване, разтвор на анилинова киселина беше използван като легираща добавка за тънкия слой от PEDOT:PSS с цел увеличаване на електропроводимостта. Използвани бяха два различни метода за интегриране на добавката: повърхностно и обемно третиране. Резултатите показват, че повърхностното третиране с разтвор на анилинова киселина може значително да увеличи проводимостта на слоя PEDOT:PSS. Освен това, ефективността на фотоелектрично преобразуване на перовскитната соларна клетка с такъв слой PEDOT:PSS е подобрена 1,5 пъти в сравнение с необработения по този начин образец.

B.9. Sohan, A., Banoth, P., Aleksandrova, M., Nirmala Grace, A., Kollu, P., Review on MXene synthesis, properties, and recent research exploring electrode architecture for supercapacitor applications, *International Journal of Energy Research*, **2021**, 45(14), pp. 19746–19771, ISSN: 0363-907X (IF 4.2, Q1)

MXenes have potential applications in the field of supercapacitors. As a two-dimensional material, how its structure, properties, and surface chemistry facilitate energy storage is discussed. A detailed analysis of the synthesis of MXenes and factors affecting energy storage in supercapacitor grounds is explained in detail. Possibilities of anode architecture to improve supercapacitor performance on

industrial standards are discussed. This review will aid in planning better MXene hybrid anodes to assemble supercapacitors with desired electrochemical performance. Ways to improve capacitance, energy density, and voltage window of electrodes are explained based on literature reports. Electrochemical performance is evaluated by the effect of hierarchical structures, heterostructures, transition metal oxides, carbon compounds, polymers, and so on. Anode fabrication methods for modern micro-supercapacitors are also incorporated in this study. A good selection of electrolytes and fabrication techniques adapted for MXene-based anode fabrication is emphasized. This review will help in future options of supercapacitor anode designing.

MXenes имат потенциални приложения в областта на суперкондензаторите. Като двумерен материал, в статията се обсъжда как структурата, свойствата и повърхностната химия на MXenes улесняват съхранението на енергия. Направен е подробен анализ на синтеза на MXenes и факторите, които влияят на съхранението на енергия в суперкондензаторите. Обсъдени са възможностите за архитектура на анода, които да подобрят производителността на суперкондензаторите според индустриалните стандарти. На базата на литературни данни са сравнение различни начини за подобряване на капацитета, плътността на енергията и напрежението на електродите. Електрохимичната производителност се оценява в зависимост на йерархичните структури, хетероструктурите, оксидите на преходните метали, въглеродните съединения, полимерите и др. Методите за получаване на аноди за съвременни микро-суперкондензатори също са включени в това изследване. Подробен коментиран е подборът на електролити и производствени техники, адаптирани за изграждане на аноди на основата на MXene.

B.10. Aleksandrova, M., Pandiev, I., Application of Thin Film Ultralow-Power Lead-Free Perovskite Solar Energy Harvesters in Power Management Systems, *Proceedings of 28th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, MIXDES 2021, 2021, pp. 197–202, 9497505, 24-26 June 2021, Lodz, Poland. ISBN:978-1-6654-4348-7*

Lead-free thin film perovskite solar cell is fabricated and characterized in terms of short-term stability at temperature and light exposure intensity variations. The performance of the proposed energy harvesting element is analyzed for its applicability to charge a supercapacitor (SC). Two possible power management systems are studied and recommendation for using is given based on the charging rate. It is found that the combination of quantum dots with lead-free perovskites expands the absorption in the visible spectrum below 500 nm, which improves the spectral sensitivity of the cell and stabilizes its response at white light. It is found that the power processing system with discrete components exhibits maximum charging rate of 1.2 mV/min, vs. 53 μ V/min obtained with monolithic DC-DC convertor, which results in faster reaching the full capacity of the SC for less than 5 hours (the typical charging time of the selected storage element). The temperature instability of the output electrical power during this time is 1.8 %/°C at maximum light intensity of 10 000 cd/m². This is superior, when compared to the non-perovskite thin film solar cells, exhibiting typical instability values of 2-2.2 %/°C.

Безоловна тънкослойна перовскитна соларна клетка е конструирана и характеризирана по отношение на краткосрочна стабилност при изменения в температурата и интензивността

на светлинния поток. Представената енергийна система за добив на енергия е анализирана по отношение на приложимостта си за зареждане на суперкондензатор. Изследвани са две възможни системи за управление на енергията, като се правят препоръки на базата на скоростта на зареждане. Установено е, че комбинацията от квантови точки с безоловни перовскити премества абсорбиционния ръб във видимия спектър под 500 nm, което подобрява спектралната чувствителност на клетката и стабилизира отговора ѝ при бяла светлина. Открито е, че системата за обработка на мощността с дискретни компоненти показва максимална скорост на зареждане от 1,2 mV/min, спрямо 53 μ V/min, получени с монолитен DC-DC преобразувател, което води до по-бързо достигане на пълния капацитет на SC за по-малко от 5 часа (типична скорост на зареждане за избрания елемент за съхранение). Нестабилността на изходната електрическа мощност по време на този период е 1,8 %/°C при максимален светлинен интензитет от 10 000 cd/m². Това е значително по-добра стойност в сравнение с тънкослойни соларни клетки, които не са базирани на перовскити и показват типични стойности на нестабилност от 2-2.2 %/°C.

B.11. Aleksandrova, M.; Pandiev, I. Electrical Characterization of a Novel Piezoelectric-Enhanced Supercapacitor with a PET/ITO/PVDF-Tr-FE/PEDOT:PSS:Graphene/LiTaO₃/Al Structure. *Crystals* **2025**, 15, 660, ISSN: 2073-4352 (IF 2.4, Q2)

This paper presents the electrical characterization of a flexible supercapacitor with a unique architecture incorporating a piezoelectric PVDF-TrFE film sandwiched between PEDOT:PSS:Graphene and LiTaO₃ as a charge-generating and charge-transferring layer. Impedance spectroscopy measurements reveal frequency-dependent capacitance behavior, reflecting the contributions of both piezoelectric and supercapacitor capacitances. Charge-discharge cycling tests demonstrate the device's energy storage capabilities and indicate a potential enhancement through the piezoelectric effect. Supercapacitor cycling tests demonstrate the device's energy storage capabilities, with an estimated specific capacitance of 10.14 F/g, a power density of 16.3 W/g, an energy density of 5.63 Wh/kg, and a Coulombic efficiency of 96.1% from an active area of 1 cm². The proposed structure can serve as an independent harvester and storage for low-power, wearable sensors.

Тази статия представя електрическото характеризиране на гъвкав суперкондензатор с уникална архитектура, включваща пиезоелектричен слой PVDF-TrFE, нанесен между PEDOT:PSS:графен и LiTaO₃, който служи като слой за генериране и пренос на заряд. Измерванията с импедансна спектроскопия показват зависимо от честотата поведение, отразяващо приноса както на пиезоелектричния ефект, така и на капацитета на суперкондензатора. Тестовите при циклично зареждане-разреждане демонстрират способностите на елемента за съхранение на енергия и показват потенциално подобрене благодарение на добавения потенциал от пиезоелектричния ефект. Получава се специфичен капацитет на суперкондензатора от 10.14 F/g, плътност на мощността 16.3 W/g, енергийна плътност от 5.63 Wh/kg и Кулонова ефективност от 96.1% от активна площ 1 cm². Предложената структура може да служи като независим генератор и батерия за енергия за маломощни носими сензори.

B.12. Hashmi, A., Jain, B., Singh, J., Aleksandrova, M., Kumar Singh, A., Facile Synthesis of Bismuth-Based Perovskite and Solvent Engineering for Improving the Crystallinity of Lead-Free Perovskite Material: A Microstructural Exploration, *Proceedings of the 2021 6th International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications, EFEA 2021, Sofia, 24-26 March 2021*, 9406228, ISSN: 2641-5925

In this work, bismuth based perovskite thin film has been synthesized and the different solvent precursor in lead-free methyl ammonium bismuth bromide (MABiBr₃) perovskite thin film was investigated. Initially, we have focused on the bismuth based material for the synthesis of lead-free perovskite thin film, because this material is non-toxic elements and fulfil requirements of being environmentally friendly. Moreover, bismuth is relatively stable as compared to other metal halides and has a variety of uses in the commercial application field. There were three precursor solvents used i.e., N,N-dimethylformamide (DMF), dimethyl sulfoxide (DMSO) and gamma-butyrolactone (GBL) for improving the crystallinity of the synthesized perovskite thin film and also increasing the efficiency of the synthesized material. Thus, the present work compared the effect of five different combinations of MABiBr₃ with various solvents, i.e. only MABiBr₃, MABiBr₃/DMSO, MABiBr₃/DMF, MABiBr₃/GBL and MABiBr₃ with all three DMSO, DMF and GBL. The synthesized MABiBr₃ perovskite thin film was characterized by X-Ray diffraction (XRD) analysis for structural investigation and the lattice strain was estimated by the Williamson-hall plot. The results showed ordinary grain size, average interlayer spacing, dislocation density, and micro strain of MABiBr₃ perovskite film. MABiBr₃/DMF/DMSO/GBL showed a good average particle size. The stress of the synthesized perovskite thin film with different solvent precursor was compressive to tensile stress as the solvent variation. The combined use of all three solvent precursors show a good response to induce crystallinity of perovskite thin film.

В настоящата работа е синтезирано тънкослойно перовскитно покритие на базата на бисмут и е изследвано влиянието на различни разтворители при производството на безоловен перовскит с метиламониев бисмутен бромид (MABiBr₃). Първоначалният фокус е върху бисмутния материал за синтезиране на безоловно перовскитно покритие, тъй като той е нетоксичен и отговаря на изискванията за екологична безопасност. Освен това, бисмутът е относително стабилен в сравнение с други метални халогениди и има разнообразни приложения. Използвани са три разтворителя: диметилформамид (DMF), диметилсулфоксид (DMSO) и гама-бутиролактон (GBL) за подобряване на кристалността на синтезираното перовскитно покритие и увеличаване на ефективността на материала. Проведено е сравнение на ефекта от пет различни комбинации на MABiBr₃ с различни разтворители: само MABiBr₃, MABiBr₃/DMSO, MABiBr₃/DMF, MABiBr₃/GBL и MABiBr₃ с всички три разтворителя (DMSO, DMF и GBL). Синтезираното тънкослойно перовскитно покритие MABiBr₃ е характеризирано с помощта на рентгенова дифракция (XRD) като деформацията на решетката е оценена чрез метод Williamson-Hall. Резултатите показват обичайни размери на зърната, средно междуслойно разстояние, плътност на дислокациите и микронапрежение на перовскитния слой от MABiBr₃. Комбинацията MABiBr₃/DMF/DMSO/GBL показва най-подходящо поведение за фотопреобразуватели тъй като има най-добър ефект за увеличаване на кристалността на тънкослойното перовскитно

покрытие. Напрежението в слоевете, получени с различни разтворители варира от напрежение на свиване до такова на опън, в зависимост от използвания разтворител.

B.13. M. Aleksandrova, T. Ivanova, V. Strijkova, T. Tsanev, A. K. Singh, J. Singh, K. Gesheva, Ga-doped ZnO coating—a suitable tool for tuning the electrode properties in the solar cells with CdS/ZnS core-shell quantum dots, *Crystals*, **2021**, 11(2), pp. 1–11, 137, ISSN: 2073-4352 (**IF 2.67**, **Q2**)

Two layer system from sputtered indium tin oxide (ITO) and gallium doped zinc oxide (Ga:ZnO, GZO) were studied for transparency in the visible electromagnetic range, reflectivity in the near infrared range, conductivity and valent band for a solar cells with quantum dots. The bi-layer coatings produced at optimized oxygen partial pressure, films thickness and surface roughness exhibit improved optical properties without worsening the electrical parameters, even if additional oxygen introduction during the reactive sputtering of the GZO. With an average optical transmittance of 91.3% in the visible range, average reflection and resistivity lower than $0.4 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$, these coatings are suitable for top electrode in the solar cells. The obtained results reveal that multilayered stacks of transparent ITO/Ga-doped ZnO coatings possess relatively low surface roughness (7–9 nm) and appropriate refractive index. The additional oxidation of GZO films induces modification of the film thickness and respectively of their optical performances.

Изследвана е двуслойна система от нанесен индиевокалаен оксид (ITO) и легиран с галий цинков оксид (Ga:ZnO, GZO) за постигане на прозрачност във видимата част на електромагнитния спектър, отражение в близкия инфрачервен спектър, проводимост и валентна зона, подходяща за използване в слънчеви клетки с комбинация от квантови точки. Двуслойните покрития, произведени при оптимизирано кислородно парциално налягане на вакуумно разпрашване, дебелина на слоевете и повърхностна грапавост, показват подобрени оптични свойства, без да влошават електрическите параметри, дори при допълнително въвеждане на кислород по време на реактивното разпрашване на GZO. Със средна оптична пропускливост от 91.3% във видимата област, средно отражение и съпротивление от $0,4 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$, тези покрития са подходящи за горен (първи или входен) електрод в слънчевите клетки. Получените резултати показват, че многослойните структури от прозрачни ITO/Ga-легиран ZnO покрития притежават сравнително ниска повърхностна грапавост (7–9 nm) и подходящ коефициент на пречупване. Допълнителното окисление на GZO слоевете предизвиква модификация на дебелината и съответно на оптичните им характеристики.

B.14. Aleksandrova, M. Study of lead-free perovskite and quantum dots core-shell infrared photodetector integrated with the silicon technology, *Proceedings of 4th International Conference on 2021 Devices for Integrated Circuit Devic 2021* (online), 2021, pp. 494–497, 9455855, ISBN: 978-1-7281-9955-9

An approach for optoelectronic infrared detection is demonstrated by combining conventional silicon technology, lead-free perovskite-type material, and quantum dots core-shell. It is shown that the device is sensitive to wavelengths in the infrared range of the electromagnetic spectrum up to 1055 nm. The detector is characterized by a high responsivity of 947 mA/W at 1055 nm. The detectivity and the external quantum efficiency at the same wavelength are found to be 5×10^7 Jones and 114 % respectively. This is considered as very good performance and can be ascribed to the presence of a photoelectric effect, producing a voltage that affects the silicon/IR material interface, controlling the depletion layer. These results are a good initial step to further optimization of the lead-free perovskite-based optoelectronics realized with compatible silicon technology.

Представен е подход за регистриране на електромагнитни вълни от инфрачервения спектър чрез комбиниране на конвенционална силициева технология, безоловен перовскитен материал и квантови точки от типа ядро-обвивка. Показано е, че устройството е чувствително към електромагнитното лъчение с дължина на вълната до 1055 nm. Детекторът притежава висока чувствителност от 947 mA/W при 1055 nm. Откриваемостта на сигнала и външната квантова ефективност при същата дължина на вълната са 5×10^7 Jones и 114 %, съответно. Това се счита за много добро поведение и може да се дължи на наличието на фотоелектричен ефект, който произвежда напрежение, влияещо на интерфейса между силиция и ИЧ полупроводник, контролирайки обеднената зона. Тези резултати представляват добър начален етап за допълнителна оптимизация в оптоелектрониката на базата на безоловен перовскит, реализирана със съвместима силициева технология.

B.15. T Tsanev, **M Aleksandrova**, Investigation of Blade Printing Technique for Nano-Structuring Piezoelectric Polymer Ink in a Porous Anodic Aluminum Oxide, *Polymers* 17 (21), 2839, **2025**, ISSN: 2073-4360 (IF 4.9 , Q1)

In this work, we investigated the use of a piezoelectric flexible device for energy harvesting. The main goal of the study was to fill the nanostructured pores of anodic aluminum oxide (AAO) films with piezoelectric polymer (PVDF-TrFE) via a modified conventional screen printing technique using blade printing. In this way, it is possible to obtain a composite from nanostructured thin films of polymer nanorods that shows improved charge generation ability compared to other non-nanostructured composites or pure (non-composite) aluminum with similar dimensions. This behavior is due to the effect of the highly developed surface of the material used to fill in the AAO nanopore template and its ability to withstand the application of higher mechanical loads to the structured piezoelectric material during deformation. The contact blade print filling technique can produce nanostructured piezoelectric polymer films with precise geometric parameters in terms of thickness and nanorod diameters, at around 200 nm, and a length of 12 μm . At a low frequency of 17 Hz, the highest root-mean-square (RMS) voltage generated using the nanostructured AAO/PVDF-TrFE sample with aluminum electrodes was around 395 mV. At high frequencies above 1700 Hz, the highest RMS voltage generated using the nanostructured AAO/PVDF-TrFE sample with gold electrodes was around 680 mV. The RMS voltage generated using a uniform (non-nanostructured) layer of PVDF-TrFE was 15% lower across the whole frequency range.

В настоящата работа е изследвано използването на пиезоелектрично гъвкаво устройство за добив на енергия. Основната цел на работата беше да се запълнят наноструктурираните пори на анодирани алуминиевооксидни (AAO) слоеве с пиезоелектричен полимер (PVDF-TrFE) чрез модифициране на технологията на ситопечат. По този начин е възможно да се получи композит от наноструктурирани тънки слоеве с наностълбчета, който показва подобрена способност за генериране на заряд в сравнение с други ненаноструктурирани композити. Тази особеност се дължи на ефекта от добре развитата повърхност на материала, използван за запълване на матрицата от AAO нанопори, и на способността му да устои на приложението на по-високи механични натоварвания по отношение на структурирането на пиезоелектричния материал по време на деформация. Методът на запълване с контактно ракелно печатане може да произведе наноструктурирани пиезоелектрични полимерни покрития с точни геометрични параметри - диаметър на наностълбчетата около 200 nm, дължина от 12 μm . При ниска честота от 17 Hz, най-високото ефективно (RMS) напрежение, генерирано с помощта на наноструктурирания AAO/PVDF-TrFE образец с алуминиеви електроди, е около 395 mV. При високи честоти над 1700 Hz, най-високото RMS напрежение, генерирано с помощта на наноструктурирания AAO/PVDF-TrFE образец със златни електроди, е около 680 mV. RMS напрежението, генерирано с помощта на непрекъснат (ненаноструктуриран) слой PVDF-TrFE, е с 15% по-ниско в целия честотен диапазон.

B.16. Aleksandrova, M.P., Tsanev, T.D., Pandiev, I.M., Dobrikov, G.H., Study of piezoelectric behaviour of sputtered KNbO₃ nanocoatings for flexible energy harvesting, *Energy*, 2020, 205, 118068, ISSN: 0360-5442 (IF 8.9, Q1)

Novel potassium niobate (KNbO₃) nanocoatings were sputtered on polyethylene naphthalate (PEN) substrates at different sputtering voltages and concentrations of sputtering gas. The relations growth time - thickness and sputtering voltage-deposition speed were established and the vacuum deposition modes were optimized. This was realized, in order to correlate the microstructure, surface morphology and the growing conditions for the nanosized KNbO₃ films. Uniform coatings with variety of thicknesses were obtained without overheating degradation of the substrates at process parameters U_s and P_{Ar} varying from 0.6 kV to 0.9 kV and from 1×10^{-2} Torr to 9×10^{-3} Torr, respectively. New Al/KNbO₃/Al energy harvesting element was fabricated and tested on tension-compression cycles. For the samples, showing the lowest surface roughness of the KNbO₃ film (3.6%), maximum piezoelectric voltage of 431 mV was measured at loading up to 3 kg. Basic electric parameters, such as capacitance, contact and bulk resistance of the piezoelectric element, involving KNbO₃ film, produced at the optimum sputtering conditions, were measured as a function of the applied mass load. Output electrical power of 2.324 μW was obtained at maximum mechanical loading, which is comparable with the results for lead-containing thin film harvesters. Theoretical analysis of the novel elements was made based on their dielectric behaviour in terms of polarization type. They were connected to passive power management system for operation as an independent power supply for low-power electronics.

Нови нанопокрития от калиев ниобат (KNbO_3) бяха нанесени чрез вакуумно високочестотно разпрашване върху подложки от полиетилен нафталат (PEN) при различни напрежения и налягане на реактивния газ по време на разпрашване. Установени бяха зависимости между времето за формиране на начален слой и последващата му дебелина, както и между напрежението на разпрашване и скоростта на растеж, а вакуумните режими бяха оптимизирани. Това беше реализирано, за да се намери връзката между микроструктура, повърхностната морфология и условията за формиране и растеж на нанослоеве от KNbO_3 . Бяха получени равномерни покрития с различни дебелини, без топлинна деградация на подложките при параметри на процеса U_s и P_{Ag} , вариращи от 0,6 kV до 0,9 kV и от 1×10^{-2} Torr до 9×10^{-3} Torr, съответно. Новият елемент за добив на енергия Al/ KNbO_3 /Al беше конструиран и тестван при цикли на свиване и опън. За пробите, показващи най-ниска повърхностна грапавост на KNbO_3 слоя (3.6%), беше измерено максимално пиезоелектрично напрежение от 431 mV при натоварване до 3 kg. Основните електрически параметри, като капацитет, контактно и обемна съпротивление на пиезоелектричния елемент, включващ KNbO_3 слой, произведен при оптимални условия на разпрашване, бяха измерени в зависимост от приложеното масонатоварване. Беше получена изходна електрическа мощност от 2.324 μW при механично натоварване, което е сравнимо с резултатите за тънкослойни устройства с материали, съдържащи олово. Теоретичен анализ на новите елементи бе направен на базата на техните поляризационни свойства. Елементите бяха свързани с пасивна система за управление на мощността, за да функционират като независим източник на енергия за маломощна електроника.

B.17. Aleksandrova, M., Ivanova, T., Hamelmann, F., Strijkova, V., Gesheva, K., Study of sputtered ZnO:Ga₂O₃ films for energy harvesting applications, *Coatings*, 2020, 10(7), 650, ISSN: 2079-6412 (IF 2.88, Q2)

Thin films of ZnO:Ga₂O₃ (ZGO) were deposited by radio frequency (RF) sputtering at voltages of 0.5, 0.9 and 1.1 kV. The films were studied with respect to their suitability in flexible piezoelectric nanogenerators. The analysis of the spectroscopic and microscopic results showed that piezoelectric features were revealed for the films grown at all sputtering voltages, but the most favorable morphology in terms of low roughness was achieved at 1.1 kV. The effect of the sputtering voltage on the films crystallinity and lattice strain was studied. It was found that the increasing sputtering voltage promoted the films crystallization. Additionally, the presence of oxygen vacancies in the piezoelectric films was negligible as it is not a major factor affecting their performance. The electrical measurements of the Ag/ZnO:Ga₂O₃/Ag harvester on a flexible substrate in the low-frequency range showed a piezoelectric voltage of 414 mV, and an electric power output of 1.4 W at a mass load of 100 g. These results were achieved by a simple architecture of a single piezoelectric layer with a relatively small size of 3 cm² and small piezoelectric film thickness (600 nm) containing lead-free material. It was proven that the sputtered ZGO films are suitable for energy harvesting elements and their performance could be tuned by the sputtering voltage. Another possible application of the proposed device, excluding low-frequency vibrational harvesting, could be a pressure sensor or strain gauge, due to the good linearity of the electrical parameter dependences on the strain.

Тънки слоеве от ZnO:Ga₂O₃ (ZGO) бяха нанесени чрез високочестотно (RF) разпрашване при напрежения от 0,5, 0,9 и 1,1 kV. Слоеве бяха изследвани по отношение на тяхната пригодност за гъвкави пиезоелектрични наноелементи. Анализът на спектроскопските и микроскопските резултати показва, че пиезоелектричните характеристики са измерими за слоеве, формирани при всяко от напреженията на разпрашване, но най-благоприятна морфология с ниска повърхностна грапавост е постигната при 1.1 kV. Изследвано е влиянието на напрежението на разпрашване върху кристалността на слоевете и деформациите в решетката. Установено беше, че увеличаването на напрежението на разпрашване стимулира кристализацията на слоевете. Освен това, присъствието на кислородни вакантни места в пиезоелектричните слоеве е незначително и не оказва съществено влияние върху тяхната производителност. Електрическите измервания на устройствата Ag/ZnO:Ga₂O₃/Ag на гъвкава подложка в нискочестотния диапазон показаха пиезоелектрично напрежение от 414 mV и електрическа мощност от 1.4 W при масо-натоварване от 100 g. Тези резултати бяха постигнати с проста еднослойна архитектура с относително малък размер от 3 cm² и малка дебелина на пиезоелектричния слой (600 nm), съдържащ безоловен материал. Доказано е, че разпрашените ZGO слоеве са подходящи за елементи за добив на енергия и тяхната производителност може да бъде регулирана в широки граници чрез напрежението на разпрашване. Друго възможно приложение на предложеното устройство, освен за добив на нискочестотна вибрационна енергия, може да бъде сензор за налягане или статична деформация, поради добрата линейност на зависимостите на електрическите параметри от нея.

B.18. Pandiev, I., Aleksandrova, M., Kolev, G., Design and Implementation of Interface Circuits Intended for Printed Piezoelectric Micropower Harvesters on Flexible Substrates, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **2020**, 876(1), 012007, ISSN: 1757-8981 (**SJR 0.249**)

Interface circuits with low power dissipation is proposed and implemented, which is useful for efficient AC/DC voltage conversion of thin-film piezoelectric micro-power stack mounted harvesters. The focus is on low-power (< 1 μ W) elements consisting of printed PVDF-TrFE piezoelectric polymer on BaSrTiO₃ coated flexible substrate with total thickness of the stack 3.1 μ m. Using silver thin films as bottom and top electrodes, the samples exhibited stable piezoelectric rms voltage between 200 mV and 400 mV produced from functional area of \sim 1.5 cm² when stimulates it with sine-wave vibration with frequency of 50 Hz and intensity equivalent to mass loading between 1-80 g. The current registered from a single harvesting element is not greater than 1 μ A. For this type of harvesters two power processing circuits intended are designed and built. The first circuit is a voltage doubler, for which the rectified output voltage is approximately equal to twice of the amplitude of the input voltage. The second circuit is a voltage quadrupler; as compared to the first one it provides higher voltage for charging a small and thin-size chip supercapacitor connected to the output port, but due to diodes voltage drops a smaller value of the energy efficiency can be obtained. For the implementation of the electronic circuits, low-power Schottky diodes with a forward voltage below 100 mV at current up to 0.1 mA are chosen. An experimental study to verify the efficiency of the proposed circuits is performed with laboratory made thin-film piezoelectric harvesters.

Предложени и реализирани са интерфейсни схеми с ниско енергийно разсейване, които са полезни за ефективно преобразуване на променливо в постоянно (AC/DC) напрежение, генерирано от тънкослойни пиезоелектрични микроелементи. Фокусът е върху нискоенергийните ($< 1 \mu\text{W}$) елементи, състоящи се от отпечатан пиезоелектричен полимер PVDF-TrFE на гъвкава подложка, покрита с BaSrTiO₃, с обща дебелина на 3,1 μm . Използвайки сребърни тънки слоеве като долни и горни електроди, пробите показват стабилно ефективно пиезоелектрично напрежение между 200 mV и 400 mV, генерирано от функционална площ около 1,5 cm², когато се стимулират със синусоидални вибрации с честота 50 Hz и интензитет, еквивалентен на масо-натоварване между 1-80 g. Регистрираният ток от един добивен елемент не надвишава 1 μA . За този тип добивни устройства са проектирани и изградени две схеми за обработка на мощността. Първата схема е удвоител на напрежение, при която постоянното изходното напрежение е приблизително равно на два пъти амплитудата на входното напрежение. Втората схема е учетворител на напрежение; в сравнение с първата осигурява по-високо напрежение за зареждане на малък и тънък суперкондензатор, свързан към изходния порт, но заради падовете на напрежението в диодите е възможно да се получи по-ниска стойност на енергийната ефективност. За реализацията на електронните схеми са избрани маломощни Шотки диоди с напрежение на отпушване под 100 mV при ток до 0.1 mA. Проведено е експериментално изследване за проверка на ефективността на предложените схеми с лабораторно изработени тънкослойни пиезоелектрични генератори.

B.19. Aleksandrova, M., Aepuru, R., Dobrikov, G., Study of printed polymeric flexible energy harvesting elements - Impact of the electrode materials and patterns, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 876(1), 012006, ISSN: 1757-8981 (SJR 0.249)

In this paper is presented study of flexible pressure piezoelectric energy harvesting developed with an screen-printing of polyvinylidene fluoride-trifluoroethylene (P(VDF-TrFE)) ink on three different metal electrodes (silver, gold and aluminium) with three different topologies - rectangular, meander and side comb. The influence of the electrode type and pattern is studied in terms of polymer coating distribution and morphology, piezoelectric voltage generation and stability at multiple bending, as well as piezoelectric coefficient. The elements are studied at low mass loading of up to 100 g and frequency up to 50 Hz. They produce voltage between 916 and 362 mV from active area of 1 cm² and piezoelectric polymer film of 3 μm , according to the electrode metal nature and shape. It was found that the silver electrode with meander shape is the optimal for electrical performance and mechanical stability giving superior piezoelectric coefficient of 0.332 V.m/N to the reported values and only 8.6 % decrease of the piezoelectric voltage at 1500 repeating bending cycles.

В тази статия е представено изследване на гъвкав пиезоелектричен елемент за добив на енергия от натиск, разработен чрез ситопечат на мастило от поливинилидена флуорид-трифлуоретилен (P(VDF-TrFE)) върху три различни метала - сребро, злато и алуминий, с три различни топологии: правоъгълна, меандърна и гребенчата. Изследвано е влиянието на типа и формата на електродите върху разпределението и морфологията на полимерното

покрите, генерирането на пиезоелектрично напрежение и стабилността при множество огъвания, както и пиезоелектричния коефициент. Елементите са изследвани при ниско масо-натоварване до 100 g и честота до 50 Hz. Те генерират напрежение между 916 и 362 mV от активна площ от 1 cm² и пиезоелектричен полимерен слой с дебелина 3 μm, в зависимост от естеството и формата на метала на електрода. Установено е, че сребърният електрод с форма на меандър е оптимален за електрическа производителност и механична стабилност, предоставяйки изключителен пиезоелектричен коефициент от 0.332 V·m/N, което надвишава известните в литературата стойности, и проявява само 8,6 % спад на пиезоелектричното напрежение след 1500 повторни цикъла на огъване.

B.20. Aleksandrova, M. Integrating Microelectronic Solutions in Renewable Energy Education: A Course Development Initiative, Proceedings of 19th International Conference on Electrical Machines Drives and Power Systems ELMA 19-21 June 2025, Sofia, Bulgaria, ISBN 979-8-3315-2635-1

This paper discusses the development of a curriculum designed to address the growing need for education in energy harvesting and renewable energy technologies. The course offered by the Laboratory of 'Thin-film electronics' (Dept. of Microelectronics, Faculty of Electronic Engineering and Technology at TU-Sofia) enables students to leverage their existing knowledge in power electronics, control systems, and materials science within this emerging domain. Additionally, it introduces them to cutting-edge methods and trends across various scales of energy harvesting applications with a focus on the small scale. The curriculum covers diverse techniques such as solar, thermal, vibration, electrostatic, radiofrequency, and both passive and active human power generation methods, along with their underlying operational principles. Students participate in research, simulation, and experimental projects focusing on microelectronics for energy harvesting systems. Detailed descriptions of the course content and key concepts, supported by project results, highlight the educational approach and practical insights gained.

Тази статия разглежда разработването на учебна програма, предназначена да отговори на нарастващата нужда от обучение в областта на добива на енергия и технологиите за възобновяема енергия. Курсът, предлаган от Лабораторията "Тънкослойна електроника" (катедра „Микроелектроника“ към Факултет по електронно инженерство и технологии на ТУ-София), позволява на студентите да използват вече придобитите си знания в областта на силовата електроника, системи за управление и материалознание в този нововъзникващ сектор. Освен това, курсът ги запознава с най-новите методи и тенденции в различни мащаби на приложения за добив на енергия, с акцент върху малките системи. Учебната програма обхваща разнообразие от системи за преобразуване на неелектрическата енергия в електрическа, включително фотоелектрични, термоелектрични, вибрационни, електростатични, радиочестотни, както и пасивни и активни методи за генериране на човешка енергия, заедно с основните принципи на тяхната работа. Студентите участват в изследователски проекти, изпълняват симулационни и експериментални задачи, фокусирани върху микроелектрониката за системи за добив на енергия.

B.21. Aleksandrova, M.P., Kolev, G.D., Tomov, R., A Singh, Mohite, K.C., Dobrikov, G.H., Role of the CdS/ZnS core/shell quantum dots in the thin film lead-free perovskite solar cells, *Bulgarian Chemical Communications*, 2020, 52, pp. 65–71, ISSN: 0324-1130 (SJR 0.179, Q4)

The performance of the thin film solar cells has been enhanced in recent years by development of new materials broadening the spectral response of the cell and suppressing the long wavelength absorption close to the near infrared range. Absorber layers are developed to improve the collection of photo-carriers when perovskites are used as photoelectric converting films. This is due to the easy tuning of the energy levels alignment at the films interface. For the new types of lead-free perovskites, the interaction between sulphide based absorber and the perovskite is not yet investigated. First, the deposition and processing conditions for the perovskite coatings were optimized in terms of crystallization degree and uniform surface. The perovskite films crystal morphology and the crystal growth kinetics were found to be similar like the films' morphology consisting of organic molecules having non-perovskite structure. Optimized perovskite films, containing this absorber with different thickness were applied in combination with lead-free perovskite films. Homogeneous core/shell type CdS/ZnS films with high density were produced. Simple cell construction is proposed, containing ITO/ZnO:Ga₂O₃ front panel electrode, lead-free CH₃NH₃I_{3-x}Cl_x based perovskite and gold back contact. The cells were tested at open circuit conditions at different illumination intensity and different wavelength of the illuminating source. At optimal conditions the fabricated solar cells showed which 1.9% higher conversion efficiency, to the reference cell without absorber. The results demonstrated the applicability of the lead-free perovskite material and the effect of sulphide layers on the solar cell electrical parameters improvement. This is a basic step to further optimization of this technology.

Производителността на тънкослойните слънчеви клетки е подобрена в последните години благодарение на разработването на нови материали, които разширяват спектралния отклик на клетките и потискат абсорбцията на дълги вълни в близката инфрачервена област. Разработени са абсорбиращи слоеве, за да се подобри събирането на фотонно генерираните електрони, съвместими с перовскити, използвани като фотоелектрически преобразуватели. Това се дължи на лесното настройване на изравняването на енергийните нива на прехода между слоевете. За новите типове безоловни перовскити взаимодействието между абсорбера на базата на сулфид и перовскит все още не е изследвано. Първо, условията за нанасяне и обработка на перовскитните покрития бяха оптимизирани по отношение на степента на кристализация и равномерността на повърхността. Открито е, че кристалната морфология на перовскитните покрития и кинетиката на кристално нарастване са подобни на морфологията на слоеве, състоящи се от органични молекули с ненастроена перовскитна структура. Оптимизираните перовскитни слоеве, съдържащи този абсорбер с различна дебелина, бяха приложени в комбинация с безоловни перовскитни покрития. Произведени бяха хомогенни структури от типа ядро/обвивка CdS/ZnS с висока плътност. Предложена е проста конструкция на клетката, съдържаща предно-панелен електрод ITO/ZnO:Ga₂O₃, безоловен перовскит на база CH₃NH₃I_{3-x}Cl_x и златен заден контакт. Клетките бяха тествани при отворена верига, различни интензитети на осветяване и различни дължини на вълната на осветяващия източник. При оптимални условия, произведените слънчеви клетки показаха с 1,9% по-висока ефективност на преобразуване в сравнение с референтната клетка

без абсорбер. Резултатите демонстрират приложимостта на материала безоловен перовскит и влиянието на сулфидните слоеве върху подобрението на електрическите параметри на слънчевата клетка. Това е основна стъпка към допълнителна оптимизация на тази технология.

B.22. Aleksandrova, M., Tsanev, T., Dobrikov, G., Kolev, G., Sophocleous, M., Georgiou, J., Denishev, K, Sputtering of Ga-doped ZnO nanocoatings on silicon for piezoelectric transducers, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **2019**, 618(1), 012014, ISSN: 1757-8981 (SJR 0.198)

In this study, lead-free, piezoelectric devices were fabricated by vacuum radiofrequency (RF) sputtering of Ga-doped, ZnO (GZO) nanocoatings at different deposition modes on silicon substrates. Several deposition rates were varied (2 to 16 nm/min) by tuning the sputtering voltage and pressure, in order to control the microstructure and surface morphology of the films. The dependences of the piezoelectric properties of GZO thin films on the different deposition conditions were investigated. Significant dependency of the films' microstructure and surface roughness was observed to the deposition modes used for fabrication. The results showed that after optimization, the surface roughness of the films grown using sputtering voltage 1.1 kV and $Ar=2.5 \cdot 10^{-2}$ Torr, is 6 nm. Films with such microstructures are characterized with crystallites orientation (002) and exhibit the highest piezoelectric coefficient of 96.3 pC/m, which is superior compared to other known, lead-free, piezoelectric materials. A simple, membrane-based, vibration sensor was fabricated at the optimal set of conditions to demonstrate the functionality of the coating in a real microelectromechanical (MEMS) device. The working range of the device is between 2 and 800 g and the piezoelectric voltage generated after minimum deformation of 5.4 nm (2g), was 9.66 mV.

В това изследване бяха произведени безоловни пиезоелектрични устройства чрез вакуумно високочестотно (RF) разпрашване на нанопокрития от легиран с Ga ZnO (GZO) при различни условия на нанасяне върху силициеви подложки. Различни скорости на нанасяне (от 2 до 16 nm/min) бяха задавани чрез настройка на напрежението на разпрашване и парциалното налягане в камерата, за да се контролира микроструктурата и повърхностната морфология на слоевете. Изследвани бяха зависимостите на пиезоелектричните свойства на тънките слоеве GZO в зависимост от различните условия на нанасяне. Бяха наблюдавани силни зависимости на микроструктурата и повърхностната грапавост на покритията спрямо режимите на нанасяне, използвани за производството им. Резултатите показаха, че след оптимизация, повърхностната грапавост на слоевете, формирани при напрежение на разпрашване от 1.1 kV и налягане на аргона $Ar=2.5 \cdot 10^{-2}$ Torr, е едва 6 nm. Слоевете с такава микроструктура са характеризирани с ориентация на кристалите (002) и показват най-високия пиезоелектричен коефициент от 96.3 pC/m, което ги прави превъзходни в сравнение с други известни безоловни пиезоелектрични материали. При установените като оптимални условия, беше създаден прост сензор на базата на мембрана чувствителна на вибрации, за да се демонстрира функционалността на покритието в реално микроелектромеханично (MEMS) устройство. Работният обхват на устройството е между 2 и 800 g, а

пиезоелектричното напрежение, генерирано след минимална деформация от 5,4 nm (2g), беше 9,66 mV.

B.23. Pandiev, I., Aleksandrova, M., Kolev, G., Analysis and Design of Power Processing Circuits for Thin Film Piezoelectric Energy Harvesters on Flexible Polyethylene Terephthalate Substrates, *Proceedings of the IEEE 31st International Conference on Microelectronics, MIEL 2019 - Nis, Serbia, 16 September - 18 September 2019*, pp. 313–316, 8889614, ISSN: 2159-1660

Piezoelectric potassium niobate based harvesters with active films' thickness between 200 nm and 400 nm are fabricated by vacuum radiofrequency (RF) sputtering on plastic polyethylene terephthalate substrates. Using gold electrodes at the opposite sides of the samples, they show piezoelectric rms voltage between 300 mV and 600 mV generated from 3 cm² area, according to the film's thickness. The obtained current from a single harvester is up to 1 μA. An AC/DC power processing circuit topology intended for this type of piezoelectric energy harvesters is proposed and investigated. A DC/DC monolithic low-power converter is connected between the output port of the bridge rectifiers with smoothing capacitor and the load (such as rechargeable battery or supercapacitor (SC)) in order to properly regulate the rectified voltage. Experimental tests, conducted by using the synthesized piezoelectric energy harvesters on flexible substrates, validate the theoretical analysis and results.

Пиезоелектрични устройства на основата на калиев ниобат с активна дебелина на слоя, варираща между 200 nm и 400 nm са произведени чрез вакуумно високочестотно (RF) разпрашване върху гъвкави подложки от полиетилен терефталат. Със златни електроди, разположени на противоположните страни на образците, те показват ефективно (RMS) пиезоелектрично напрежение между 300 mV и 600 mV, генерирано от площ от 3 cm², в зависимост от дебелината на активния слой. Полученият ток от един добивен елемент е до 1 μA. Предложена и проучена е топология на AC/DC схема за обработка на енергия, предназначена за този тип пиезоелектрични устройства за добив на енергия. Монолитен DC/DC маломощен преобразувател е свързан между извода на мостови изправители с изглаждащ капацитет и товар (като акумулаторна батерия или суперкондензатор (SC)), за да може да регулира правилно изправеното напрежение. Проведените експериментални тестове с използване на лабораторно синтезираните пиезоелектрични устройства за добив на енергия върху гъвкави подложки валидираха теоретичния анализ и резултатите.

B. 24. Aleksandrova, M., Kolev, G., Vucheva, Y., Pandiev, I., Denishev, K., Flexible Oxide-Polymeric Composites for Piezoelectric Energy Harvesting, *Proceedings of the IEEE 31st International Conference on Microelectronics, MIEL 2019 Nis, Serbia, pp. 141–144, 8889602, 16 September - 18 September 2019*, ISSN: 2159-1660

In this study is presented technology for fabrication of a piezoelectric element as an alternative energy source (energy harvesting). The elements are produced on flexible polyethylene naphthalate (PEN) substrates and consist of novel lead-free nanocomposite [Ga-doped ZnO (GZO)-

polyvinylidene fluoride (PVDF)]. The oxide film is deposited by vacuum radiofrequency (RF) sputtering and PVDF is pulverized by spray coating system. Aluminum and gold metal coatings are investigated as electrodes for optimal extraction of the generated electric energy from the piezoelectric coating. It was showed that PVDF spray deposition reduces the surface roughness of GZO film with 1.4 %. Piezoelectric response is measured at different applied dynamic loads with the two types of electrodes, as well as for oxide-only film. It was found that PVDF based composite leads to improved interface conditions for electrode coating, such as low parasitic capacitances. The highest obtained piezoelectric voltage is 586 mV at 40 g mass weight load with frequency of 50 Hz for gold coated GZO+PVDF. This voltage is 41% higher and more stable in the time sweep in comparison with the case at PVDF-free piezoelectric film, and 29% higher than the composite element, but with aluminum electrode. The interface capacitance is 3 orders of magnitude lower (nF vs μ F) and the contact resistance is 15 times smaller (Ω vs k Ω) when the interfaces are with gold, which optimizes the electric energy collection and enhances the energy harvesting performance.

В това изследване е представена технология за производство на пиезоелектрични елементи като алтернативен източник на енергия. Елементите се изграждат върху гъвкави подложки от полиетилен нафталат (PEN) и се състоят от безоловен нанокompозит [Ga-легиран ZnO (GZO)-поливинилиден дифлуорид (PVDF)]. Оксидният слой се нанася чрез вакуумно високочестотно (RF) разпращване, а PVDF се пулверизира ултразвуково. Изследвани са алуминиеви и златни метални покрития като електроди за оптимално извличане на генерираната електрическа енергия от композитното покритие. Установено е, че методът на нанасяне на PVDF чрез пулверизиране намалява повърхностната грапавост на GZO слоевете с 1,4 %. Пиезоелектричният отклик е измерен при различни приложени динамични натоварвания с двата типа електроди, както и за слоя само с оксид като референтен. Открито е, че композитът на база PVDF води до подобрени интерфейсни условия с електродите, като например формиране на малки паразитни капацитети. Най-високото получено пиезоелектрично напрежение е 586 mV при натоварване от 40 g и честота 50 Hz за GZO+PVDF със златен електрод. Тази стойност е с 41% по-висока и по-стабилна във времето в сравнение с оксидния слой без PVDF и с 29% по-висока от композитния елемент с алуминиев електрод. Преходният капацитет е с 3 порядъка по-малък (nF срещу μ F) и контактното съпротивление е 15 пъти по-малко (Ω срещу k Ω), когато преходите са със злато, което оптимизира събирането на електрическа енергия и подобрява производителността.

B.25. Aleksandrova, M., Dobrikov, G., Kolev, G., Y Marinov, Vlahov, T., Denishev, K., *Flexible and Lead-Free Barium Strontium Titanate Based Generators*, *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, ISSE 2018, Zlatibor, Serbia, 16 May 2018-20 May 2018*, 8443666, ISSN: 2161-2536 (SJR 0.219)

In this study BST thin films were RF sputtered on gold/polyethylene dioxithiophene coated polyethylene naphthalate flexible substrate and piezoelectric generator with top patterned electrodes was designed. The composition of the films, piezoelectric response of the device, dielectric losses, capacity and mechanical stability were investigated. It was found that device

consisting of barium strontium titanate (BST) films with thickness of 420 nm and composition of $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$, exhibited high capacity of 4.65 μF , low dielectric losses of 10^{-3} - 10^{-2} in a broad range of frequencies and produced average voltage of 80 mV at applied low frequency vibrations with intensity of 350 g. The average produced power was 7.02 μW per bending cycle and the power density was 2.34 $\mu W/cm^2$. Maximal longitudinal piezoelectric coefficient d_{33} was found to be 10.8 pC/N. The mechanical stability is satisfying, as the variation of the capacity was not greater than 17% up to 320 bending cycles, and the device resisted to 500 cycles without degradation. This might be due to the presence of elastic polymer at the bottom electrode interface. The results show superior performance of the generator, as compared to the available results.

В това изследване тънки слоеве от $BaSrTiO_3$ (BST) са нанесени чрез високочестотно разпрашване върху гъвкава подложка от полиетилен нафталат, покрита със злато/полиетилендиокситиофен (PEDOT), и беше проектиран пиезоелектричен генератор със геометрично структурирани електроди. Изследвани са химичният състав на слоевете, пиезоелектричният отклик на устройството, диелектричните загуби, капацитетът и механичната стабилност. Установено е, че устройството, състоящо се от слоеве от бариево-стронциев титанат (BST) с дебелина 420 nm и елементен състав $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$, проявява висок капацитет от 4,65 μF , ниски диелектрични загуби от 10^{-3} до 10^{-2} в широк диапазон от честоти и генерира средно напрежение от 80 mV при приложени нискочестотни вибрации с интензивност от 350 g. Средно произведената мощност е 7.02 μW на цикъл на огъване, а плътността на мощността е 2.34 $\mu W/cm^2$. Най-високият измерен надлъжен пиезоелектричен коефициент d_{33} е 10.8 pC/N. Механичната стабилност е задоволителна, тъй като изменението на капацитета не надвишава 17% до 320 цикъла на огъване, а устройството устоява на 500 цикъла без деградация. Това може да се дължи на присъствието на еластичен полимер на интерфейса при долния електрод.

Група „Г.7“

Г.7.1. Aleksandrova, M., Ustova, B., Tsanev, T., Raptis, I., Tserepi, A., Gogolides, E., Kolev, G., Microheater Topology for Advanced Gas Sensor Applications with Carbyne-Enriched Nanomaterials, *Applied Sciences* (Switzerland), **2024**, 14(5), 1728, ISSN: 2076-3417 (IF: 2.5, Q2)

The response characteristics of carbyne-enriched surface-acoustic-wave (SAW)-based gas sensors utilizing meander and rectangular microheater topologies were investigated to assess their desorption and recovery properties. Comparative analysis of contact resistance and interface capacitance before and after heating revealed minimal deviation in contact resistance, signifying strong thermal stability in the carbyne-enriched layer. However, the interface capacitance varied with the microheater size. Our analysis reveals that a small meander microheater configuration (line width: 300 μm) facilitates efficient sensor recovery at ethanol concentration measurements in the range of 180–680 ppm, maintaining a low deviation in time delay across different concentrations ($\sim 2.3\%$), resulting in a narrow hysteresis and linear sensor response. Conversely, the large meander microheater (line width: 450 μm) and rectangular dense microheater induce irreversible changes in the sensing structure, leading to a widened hysteresis at higher concentrations and increased power consumption. Recovery patterns display substantial deviations from initial values at different concentration levels. Higher concentrations exhibit broader hysteresis, while lower concentrations show narrower hysteresis loops, compared to the small meander microheater. The study offers insights into desorption rates, power consumption variations, and recovery behaviors related to different microheater configurations. It demonstrates the importance of microheater topology selection in tailoring recovery properties and response characteristics, contributing to the advancement of carbyne-based sensor technology.

Изследвани са характеристиките на отклика на газови сензори, базирани на повърхностни акустични вълни (SAW), използващи чувствителни слоеве обогатени с карбин, с приложение на различни топологии на микронагреватели с меандърна и правоъгълна форма, за да се оценят техните способности за десорбция и възстановяване. Сравнителният анализ на контактното съпротивление и преходния капацитет преди и след нагриване показва минимални отклонения на съпротивлението на прехода, което означава силна термична стабилност в слоя с карбин. Въпреки това, преходният капацитет варира в зависимост от размера на микронагревателя. Анализът разкрива, че конфигурацията на малкия микронагревател меандър (с ширина на линията: 300 μm) улеснява ефективното възстановяване на сензора при измервания на концентрация на етанол в диапазона 180–680 ppm, поддържайки ниско отклонение във времезакъснението при различни концентрации ($\sim 2,3\%$), което води до тесен хистерезис и линейна реакция на сензора. Обратно, голямото меандърно конфигуриране на микронагревателя (ширина на линията: 450 μm) и правоъгълният плътен микронагревател предизвикват необратими промени в сензорната структура, което води до разширен хистерезис при по-високи концентрации и увеличена консумация на енергия. Кривите на възстановяване показват значителни отклонения от началните стойности при различни нива на концентрация. По-високите концентрации показват по-широка хистерезис, докато по-ниските концентрации - по-тесни хистерезисни цикли, в сравнение с малкия микронагревател. Изследването предоставя информация

относно скоростите на десорбция, вариации в консумацията на енергия и поведения при възстановяване, свързани с различните конфигурации на микронагревателя. То демонстрира значението на избора на топология на микронагревателя при настройването на свойствата на възстановяване и характеристиките на отклика, допринасяйки за развитието на сензорни технологии на база карбин.

Г.7.2. Georgieva V., **Aleksandrova M.**, Stefanov P., Grechnikov A., Gadjanova V., Dilova T., Angelov T., Study of quartz crystal microbalance NO₂ sensor coated with sputtered indium tin oxide film, *Journal of Physics: Conference Series*, **2014**, 558 (1), art. no. 012037, ISSN: 1742-6596 (**SJR 0,26**)

A study of NO₂ gas sorption ability of thin indium tin oxide (ITO) deposited on 16 MHz quartz crystal microbalance (QCM) is presented. ITO films are grown by RF sputtering of indium/tin target with weight proportion 95:5 in oxygen environment. The ITO films have been characterized by X-ray photoelectron spectroscopy measurements. The ITO surface composition in atomic % is defined to be: In-40.6%, Sn-4.3% and O-55%. The thickness and refractive index of the films are determined by ellipsometric method. The frequency shift of QCM-ITO is measured at different NO₂ concentrations. The QCM-ITO system becomes sensitive at NO₂ concentration ≥ 500 ppm. The sorbed mass for each concentration is calculated according the Sauerbrey equation. The results indicated that the 1.09 ng of the gas is sorbed into 150 nm thick ITO film at 500 ppm NO₂ concentration. When the NO₂ concentration increases 10 times the calculated loaded mass is 5.46 ng. The sorption process of the gas molecules is defined as reversible. The velocity of sorption /desorption processes are studied, too. The QCM coated with thin ITO films can be successfully used as gas sensors for detecting NO₂ in the air at room temperature.

Представено е изследване на способността за сорбция на NO₂ газ върху тънки слоеве от индиево-калаен оксид (ITO), нанесени върху 16 MHz кварцовокристална микровезна (QCM). Слоевете от ITO са нанесени чрез RF разпрашване на мишена индий:калай с тегловно съотношение 95:5 в среда на кислородна плазма. ITO покритията са характеризирани чрез измервания с рентгенова фотоелектронна спектроскопия (XPS). Съставът на повърхността на ITO в атомни проценти е определен на: In-40.6%, Sn-4.3% и O-55%. Дебелината и коефициентът на пречупване на слоевете са определени с метода на елипсометрия. Честотната промяна на QCM-ITO е измерена при различни концентрации на NO₂. Системата QCM-ITO става чувствителна при концентрация на NO₂ ≥ 500 ppm. Сорбираната маса за всяка концентрация е изчислена по уравнението на Зауербрей. Резултатите показват, че 1,09 ng от газа е сорбиран в 150 nm дебел ITO слой при концентрация на NO₂ от 500 ppm. Когато концентрацията на NO₂ се увеличи 10 пъти, изчислената натоварена маса е 5,46 ng. Процесът на сорбция на газовите молекули е определен като обратим. Изучени са и скоростите на процесите на сорбция/десорбция. QCM, покрит с тънки слоеве от ITO, може успешно да се използва като газов сензор за откриване на NO₂ във въздуха при стайна температура.

Г.7.3. Tomov, R., Strijkova, V., Katrova, V., **Aleksandrova, M.**, Investigation of Spray-Coated Titanium Carbide MXene Thin Films and Their Application in Biosensors, *2024 33rd International Scientific Conference Electronics, ET 2024 - Proceedings, Sozopol, 17 September - 19 September 2024*, ISBN: 979-8-3503-7645-6.

In this study, a water-based eco-friendly solution of Titanium Carbide MXene was ultrasonically spray coated on Si/SiO₂ substrate for the detection of sweat substances. The optimal flow rate of the solution was found to be 0.15ml min, and the resulting films had a surface roughness of ~ 17 nm and sheet resistance of 156 Ω/sq. Chemoresistive sensors with titanium and aluminum contacts were fabricated and their response to MgCl₂, NH₃ and NaCl was measured. The most stable and strongest response was toward MgCl₂ from sensors with Ti contact.

В това изследване е приложен воден, екологично чист разтвор на титанов карбид MXene чрез ултразвуково пулверизиране върху подложка Si/SiO₂ за откриване на вещества от потта. Оптималният дебит на разтвора е установен на 0,15 ml/min, а получените слоеве имат повърхностна грапавост около 17 nm и листово съпротивление от 156 Ω/sq. Проектирани са хеморезистивни сензори с контакти от титан и алуминий и е измерен техният отговор на MgCl₂, NH₃ и NaCl. Най-стабилният и силен отклик е наблюдаван при MgCl₂ за сензорите с титанов контакт.

Г.7.4. More, P.B., Bansode, S.B., **Aleksandrova, M.**, Jadkar, S.R., Pathan, H.M., Synthesis of ZnO Thin Films Using Chemical Bath Deposition and Investigation of Physicochemical Properties, *ES Energy and Environment*, **2023**, 22, 983, ISSN: 25780646 (SJR 0,594, Q2)

In the present work, we have synthesized ZnO thin films on the FTO (fluorine-doped tin oxide) substrate by chemical bath deposition method (CBD) at 70 °C temperature. X-ray diffraction studies reveal that ZnO films have a hexagonal wurtzite structure with texturing along the (002) direction. In addition, scanning electron microscopy confirmed the formation of micron-sized rods oriented along the vertical (c-axis) direction. Moreover, various optical and photoelectrochemical (PEC) properties are examined. From U-V spectroscopy, the optical band gap of the ZnO thin film was found to be 3.1 eV. Photoluminescence spectra revealed that the film deposited which consists of a sharp emission in the UV region and broad emission in the visible region could be related to defects in ZnO. Electrochemical impedance spectroscopy shows that under illumination, the ZnO film shows PEC performance in terms of higher photocurrent density. The chronoamperometry shows stability test with photocurrent density vs. time was 60 μA/cm². Furthermore, the Mott-Schottky curve confirms that the as-deposited ZnO films are n-type with a charge carrier density of 8.55×10¹⁸ cm⁻³.

В настоящата работа са синтезирани тънки слоеве от ZnO върху подложка от FTO (флуорно-легиран калаен оксид) с метод на химична баня (CBD) при температура 70 °C. Измерванията чрез рентгенова дифракция разкриват, че покритията от ZnO имат вюртцитна хексагонална структура с текстура (кристалографска ориентация) в посоката (002). Освен това, сканиращата електронна микроскопия потвърждава образуването на микронни стълбчета, ориентирани във вертикална посока спрямо повърхността. Разгледани са и различни

оптични и фотоелектрохимични (ПЕС) свойства. От UV спектроскопията е установена 3,1 eV оптична забранена зона на тънкия слой ZnO. Спектрите на фотолуминесценция разкриват, че слойът, който показва остър пик на излъчване в UV областта и широк пик на излъчване във видимия диапазон, може да е свързан с дефекти в ZnO. Електрохимичната импедансна спектроскопия показва, че при осветяване, слойът ZnO проявява по-висока плътност на фототока. Хроноамперометрията показва стабилност на теста, като плътността на фототока във времето е 60 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Освен това, Mott-Schottky кривата потвърждава, че синтезираните ZnO слоеве са n-тип с плътност на токоносителите от $8,55 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

Г.7.5. Tomov, R., Aleksandrova, M., Metallization and bonding approach for carbyne nanomaterial, *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, **2023**, 15(57), pp. 338–343, ISSN: 2077-3528 (SJR: 0,228, Q3)

In this paper, carbyne film applicable in gas sensors, was metallized by vacuum sputtering with different materials, aiming formation of Ohmic and Schottky contacts. The metal top layers were bonded by different metal wires and bonding conditions to prepare the samples for packaging. The effect of the bonding force and temperature on the penetration of metal particles in the carbyne was investigated. Silver was bonded by aluminum wire and palladium – by gold wire. The cross-section of the carbyne/metal interface was observed by scanning electron microscope and chemical analysis was made in depth across the layer thickness to explore the elemental profile of each layer. The sheet resistance variation was also used to confirm the results from the interface imaging and mapping. It was found that silver particles diffuse slowly in the carbyne, but the palladium ones diffuse strongly and significantly increase the conductivity of the carbyne material. A possible solution to prevent this process is nickel barrier thin film insertion under the palladium. It was proved that the Pd/Ni interface is stable at bonding and the properties of the carbyne were kept unmodified. The results are of great importance for the prototyping of novel carbon nanomaterials-based gas sensors.

В тази статия е описано метализиране на карбинови слоеве, приложими в газови сензори. Реализира се чрез вакуумно разпръскване на различни метали, с цел образуване на Омични и Шотки контакти. Металните горни слоеве бяха свързани с различни метални проводници и условия на свързване, за да се подготвят пробите за опроводяване чрез бондиране и корпусиране. Изследван бе ефектът на силата на натиск на бондиращата игла и температурата на подложката върху проникването на метални частици в карбина. Среброто беше бондирано с алуминиев микропроводник, а паладият – със златен. Напречното сечение на интерфейса карбин/метал беше наблюдавано с помощта на сканиращ електронен микроскоп, а химическият анализ беше проведен в дълбочина по дебелината на слоя, за да се проучи елементният профил на всеки слой. Изменението на листовото съпротивление също беше използвано за потвърждаване на резултатите от изображенията и картографирането на прехода. Установено беше, че сребърните частици дифундират бавно в карбина, но паладиевите частици дифундират силно и значително увеличават проводимостта на материала карбин, което е неконтролируемо и нежелано. Възможно решение за предотвратяване на този процес е вмъкването на тънък бариерен слой от никел

под паладия. Доказано е, че интерфейст Pd/Ni е стабилен при бондиране и свойствата на карбина остават неизменени. Резултатите са от голямо значение за прототипирането на нови газови сензори на база въглеродни наноматериали.

Г.7.6. Tomov, R., Kolev, G., Dobrikov, G., **Aleksandrova, M.**, Study of bonding parameters with Al and Au wires on Pd and Ag coatings, *Journal of Physics: Conference Series*, **2024**, 2710(1), 012022, ISSN: 1742-6596 (**SJR 0.187**)

The process of electrical connection with gold and aluminium wires to palladium and silver electrodes is studied. Parameters of the wire bonding, such as bond force, ultrasonic power, bond time and temperature of the layers, controlled by heating the substrate are varied to explore the reliability of the bonds in terms of mechanical strength, electrical conductivity and interdiffusion of particles between the electrode and functional material at different bonding conditions. The importance of this study is due to the need of electrical connectivity at the stage of wiring and packaging of gas sensors with a novel organic nanomaterial (carbyne), requiring different types of electrodes - Ohmic or Schottky - according to the measurement principle and sensor architecture. Pd and Ag are identified as the most suitable for Ohmic and Schottky contacts, respectively, because of their favourable energy level alignment at the organic/metal interface. The chosen method for bonds testing is measurement of the pull force causing bond failure. The results show that Pd coating was bondable by Au wire, and Ag coating by Al wire, as well as Au on Pd bonds have 4 times higher strength. It is found that the bonding procedure doesn't affect negatively on the Au/Pd/carbyne interface in terms of diffusion and redistribution of metal particles, but Al/Ag/carbyne is characterized by poor adhesion and the bonds are peeled-off. The results give new knowledge for the fabrication of advanced gas sensors and for the interaction of the carbyne with different metals, which will serve as a base for further optimization of the manufacturing technology toward their commercialization.

Изследван е процесът на бондиране със златни и алуминиеви проводници към паладиеви и сребърни електроди. Променени са параметрите на бондиране, като сила на натиск, ултразвукова мощност, време на бондиране и температура на слоевете, контролирана чрез нагряване на подложката, за да се изследва надеждността на връзките по отношение на механична устойчивост, електрическа проводимост и взаимна дифузия на частици между електрода и функционалния материал. Изследването е важно за електрическата свързаност при опроводяване и корпусиране на газови сензори с нов органичен наноматериал (карбин), изискващи Омични или Шотки електроди, в зависимост от принципа на измерване. Pd и Ag са идентифицирани като подходящи за Омични и Шотки контакти. Методът за тестване на връзките е чрез измерване на силата на опън, причиняваща разрушаване на връзката. Резултатите показват, че паладиевото покритие може да бъде бондирано със златен проводник, а среброто с алуминиев, като връзката Au/Pd има 4 пъти по-висока якост. Процесът на свързване няма негативно влияние върху интерфейса Au/Pd/карбин, но Al/Ag/карбин се характеризира с лоша адхезия и обелване на контактите. Резултатите предоставят информация за производството на усъвършенствани газови сензори и подготвя образци на технологично ниво за бъдеща комерсиализация.

Г.7.7. Tomov, R., **Aleksandrova, M.**, Improving Gold and Palladium Ohmic Contacts of Carbyne-Based Devices, *Journal of Circuits, Systems and Computers*, **2025**, vol. 34, issue 16, 2441001, ISSN: 0218-1266 (**IF 1, Q3**)

The effects of the sequence of technology steps of electrical contact formation between carbyne layers and metal electrodes (gold, platinum) on contact parameters were explored. Enhancements in contact parameters were achieved through thermal annealing of the samples. Contact parameters were measured by transmission line method (TLM) and impedance spectroscopy after annealing at atmospheric conditions. Lowering of contact resistivity and sheet resistance of the carbyne layer after annealing was observed for temperatures up to 150 °C for palladium contacts and up to 100 °C for gold contacts. It was found that exceeding these temperatures is not recommended, as higher annealing temperatures led to a reduction in the sheet resistance of the carbyne layer. Based on these findings, it can be concluded that the electrical losses at metal contacts of carbyne-based devices, with Au or Pd metallization, can be reduced through annealing. This is particularly critical in carbyne-based gas sensors, where decreasing contact resistance enhances sensitivity.

Изследвани са ефектите от последователността на технологичните стъпки при образуването на електрически контакти между карбинови сензорни слоеве и метални електроди (злато, платина) върху параметрите на контактите. Подобрения в параметрите на контактите са постигнати чрез термично отгряване на пробите. Параметрите на контактите бяха измерени с метода на предавателната линия (TLM) и импедансна спектроскопия след отгряване при атмосферни условия. Наблюдава се намаление на контактното съпротивление и листовото съпротивление на карбиновия слой след нагряване при температури до 150 °C за паладиеви контакти и до 100 °C за златни контакти. На базата на тези констатации може да се заключи, че електрическите загуби при метални контакти на устройства на база карбин, с Au или Pd метализация, могат да бъдат намалени чрез отгряването. Това е особено критично при газови сензори, където намаляването на контактното съпротивление увеличава чувствителността им.

Г.7.8. Tomov, R., **Aleksandrova, M.**, Overview of the Metallization Approaches for Carbyne-Based Devices, *Molecules*, **2023**, 28(17), 6409, ISSN: 1420-3049 (**IF 4,2, Q1**)

Metallization for contacts in organic electronic nanodevices is of great importance for their performance. A lot of effects can appear at the contact/organic interface and modify the contact parameters, such as contact resistance, adhesive strength, and bonding ability. For novel materials, it is important to study the interactions with metal atoms to develop a suitable technology for contacts, fulfilling to the greatest extent the above-mentioned parameters. A novel material is carbyne, which is still under intensive research because of its great potential in electronics, especially for sensing applications. However, the most appropriate metallization strategy for carbyne-based devices is still unknown, so the interactions between carbyne and metal films should be studied to more precisely direct the development of the metallization technology, and to form contacts that are not limiting factors for device performance.

Метализацията на контактите в органичните електронни наноустройства е от съществено значение за тяхната производителност. Много ефекти могат да се появят на интерфейса между контакта и органичния материал, които да модифицират параметрите на прехода, като контактно съпротивление, адхезивна якост и бондираща способност. За новите материали е важно да се изследват взаимодействията с метални атоми, за да се разработи подходяща технология за контакти, която да отговаря в максимална степен на посочените параметри. Сред новите материали е карбинът, който все още е предмет на интензивни изследвания, поради своя огромен потенциал в електрониката, особено за сензорни приложения. Въпреки това, най-подходящата стратегия за метализация за устройства на база карбин все още не е известна, така че взаимодействията между карбин и металните слоеве трябва да бъдат изследвани, за да се насочи по-точно развиването на технологията за метализация и да се формират контакти, които не са ограничителни фактори за работата на устройството.

Г.7.9. Tomov, R., Aleksandrova, M., Palladium Films as Electrodes on Carbyne-Based Devices, *2023 IEEE 33rd International Conference on Microelectronics, MIEL 2023, Nis, Serbia, 16 October 2023 - 18 October 2023*, ISBN: 979-8-3503-4777-7

Palladium contacts were deposited on a carbyne-enriched nanocoating, and the sheet resistance of the carbyne material was measured before and after the deposition of different thicknesses of the electrode films, to explore if there is unwanted interaction between the materials in contact. It was deduced diffusion of palladium particles into the carbyne, and it was found that it is thickness dependent. It was found that ~200 nm Pd films caused variation of the carbyne film's sheet resistance from 130 to 118 k Ω /sq and 400 nm Pd resulted in a 27.9 k Ω /sq of the carbyne, which requires an additional blocking layer to prevent the diffusion process. Nickel thin film proved to be an effective barrier to resolving this issue. Studying contacts between a variety of metals and carbyne film is of great importance for the fabrication of future organic chip devices.

Паладиеви контакти са нанесени върху нанопокритие обогатено с карбино, а листовото съпротивление на карбиновия материал е измерено преди и след нанасянето на електродни слоеве с различна дебелина, за да се изследва дали съществуват нежелани взаимодействия между материалите, формиращи контакт. Установено е, че паладиевите частици дифундират в карбина и това е зависимо от дебелината - Pd с дебелина около 200 nm предизвика изменение на листовото съпротивление на карбинния слой от 130 до 118 k Ω /sq, а 400 nm Pd води до 27.9 k Ω /sq за карбина, което изисква добавяне на бариерен слой, за да се предотврати процесът на дифузия. Тънък слой никел проявява ефективни бариерни свойства за разрешаване на този проблем. Изучаването на контактите между различни метали и материала карбин е от голямо значение за производството на бъдещи органични чип-сензорни устройства.

Г.7.10. Rusev, R.P., Tzaneva, B.R., Ruskova, I.N., Aleksandrova, M.P., Kolev, S.V., Substrate Effects on Electrophoretic Deposited Biocompatible Piezo-Salts, *Proceedings of the 58th*

International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, ICEST 2023 – Nis, Serbia, 29 June 2023-1 July 2023, pp. 235–238, ISBN: 979-8-3503-1073-3

Piezo layers of non-toxic and biocompatible salts are formed for the green microelectronics, such as Rochelle Salt and ammonium dihydrogen phosphate. These layers were deposited with electrophoresis on aluminum and copper substrates. The influence of the substrates on the morphology of the layers and their piezo-response were studied. The obtained structures are polycrystalline, but have the piezo-moduli comparable to monocrystals and inorganic ceramics.

Пиезоелектрични слоеве от нетоксични и биосъвместими соли, като сол на Роше и амониев дихидроген фосфат, са синтезирани за нуждите на „зелената“ микроелектроника. Тези слоеве са нанесени чрез електрофореза върху алуминиеви и медни подложки. Изследвано е влиянието на подложките върху морфологията на слоевете и тяхната пиезоелектрична реакция. Получените структури са поликристални, но имат пиезо-модули със стойности, съпоставими с тези на някои монокристали и неорганични керамики.

Г.7.11. Tomov, R., Aleksandrova, M., Exploring Gold Contacts on Novel Carbyne-enriched Material, *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, ISSE 2023, Timisoara, Romania, 10 May 2023-14 May 2023*, ISBN: 979-8-3503-3484-5

Gold contacts were deposited on a carbyne-enriched film, and the resistance between two electrodes and the sheet resistance of the carbyne-enriched film were measured before and after annealing at different temperatures, to explore the applicability of the gold as an electrode and the possibility for lowering the contact resistance. Resistances were measured and their relative changes were determined to qualitatively deduce the extent to which the annealing affects the contact resistance between the gold and the carbyne-enriched material. Exploring contacts between different metals and the carbyne-enriched film is of importance for the fabrication of future carbyne-based devices, for example, organic sensors detecting a variety of molecules such as harmful gasses.

Златни контакти са нанесени върху карбиново обогатен слой, а съпротивлението между двата електрода и листовото съпротивление на карбиновия материал бяха измерени преди и след отгряване при различни температури, за да се изследва приложимостта на златото като електрод и възможността за намаляване на контактното съпротивление. Съпротивленията са измерени и са определени относителните им изменения, за да се направи качествено заключение за степента, до която отгряването влияе на контактното съпротивление между златото и карбиновия материал. Изследването на контактите между различни метали и карбиновия слой е от значение за производството на бъдещи устройства на база карбин, например, органични сензори, откриващи различни молекули, като вредни газове.

Г.7.12. Aleksandrova, M., Badarov, D., Recent Progress in the Topologies of the Surface Acoustic Wave Sensors and the Corresponding Electronic Processing Circuits, *Sensors*, **2022**, 22(13), 4917, ISSN: 1424-8220 (IF 3.9, Q1)

In this paper, we present an overview of the latest achievements in surface acoustic wave (SAW) sensors for gas or liquid fluid, with a focus on the electrodes' topology and signal processing, as related to the application of the sensing device. Although the progress in this field is mainly due to advances in the materials science and the sensing coatings, the interdigital (IDT) electrodes' organization is also an important tool for setting the acoustic-wave-distribution mode, and, thus, for improvement of the SAW performance. The signal-conditioning system is of practical interest, as the implementation of the SAW, as a compact and mobile system is dependent on this electronic circuit. The precision of the detection of the SAW platform is related not only to the IDT electrodes' geometry but also to their location around the sensing layer. The most commonly used architectures are shown in the present paper. Finally, we identify the needs for the future improvement of these prospective sensors.

Представен е преглед на последните постижения в сензорите на базата на повърхностни акустични вълни (SAW) за измерване на концентрация на газове или течности, с акцент на топологията на електродите и обработката на сигнала, свързана с приложението на сензорното устройство. Въпреки че напредъкът в тази област е предимно резултат от развитието на материалознанието и сензорните покрития, организацията на гребенчатите електроди също е важен инструмент за определяне на режима на разпределение на енергията на акустичните вълни. Системата за обработка на сигнала е от практическо значение, тъй като реализирането на SAW като портативна система зависи от тази електронна схема. Точността на регистриране на SAW платформата е свързана не само с геометрията на електродите, но и с тяхното разположение около сензорния слой. Представени са най-често използваните архитектури. Накрая са дефинирани насоките за бъдещо подобрене на тези перспективни сензори.

Г. 7.13. Rusev, R.P., Ruskova, I.N., Tzaneva, B.R., **Aleksandrova, M.P.**, Tzonev, A.N., *Piezo Effect of Collagen Layer with Rochelle Salt Nanocrystals, 31st International Scientific Conference Electronics, Sozopol, 13 September-15 September 2022, ET 2022 - Proceedings, 2022, ISBN: 978-1-6654-9878-4*

A piezo layer from Collagen was deposited by electrophoresis for bio-electronics needs. Natural piezo materials are characterized with low piezo module. The value of the piezo module is increased by electrophoretic deposition (EPD) of Rochelle Salt/Collagen. The resulting layer consists of a Rochelle Salt nanocrystalline sublayer and inhomogeneously distributed Collagen aggregates on it. This layer has a high piezo response comparable to inorganic piezo materials.

Пиезоелектричен слой от колаген е нанесен чрез електрофореза за нуждите на биоелектрониката. Натуралните пиезоелектрични материали се характеризират с нисък пиезоелектричен модул, но стойността на пиезоелектричния модул се увеличава чрез електрофоретично нанасяне (EPD) на Рошелова сол/колаген. Полученият слой се състои от нанокристален подслой на сол на Роше и неравномерно разпределени агрегати от колаген върху него. Този слой има висок пиезоелектричен отклик, сравним с някои от неорганичните пиезоелектрични материали.

Г. 7.14. Aleksandrova, M., Kolev, G., Brigadin, A., Lukin, A., Mass-Sensitive Gas Detectors Based on Bulk Micromachined Silicon Cantilevers Coated by Carbyne-Enriched Nanolayer, *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, ISSE 2022*, Vienna, Austria, 11 May 2022 - 15 May 2022, ISBN: 978-1-6654-6589-2

Cantilever elements were designed and fabricated by silicon microfabrication technologies to create gas sensor architecture, employing a novel class of carbyne-enriched nanomaterial. It was intended to explore the potential of the element as a sensitive sensor of volatile organic compounds (VOCs), in particular of ethanol vapors. The fabrication technology was described in detail and the mass sensitivity and response times were compared for cantilever structures with different beam lengths. The carbyne-enriched nanolayer was deposited on the silicon cantilevers by ion-Assisted pulse-plasma deposition. The results showed better sensitivity and broader linear dynamic range for the longer beam cantilever of 240 μm (0.71 mHz/ppm vs. 0.3 mHz/ppm), but shorter response and recovery time, as well as smaller hysteresis for the shorter beam cantilever of 200 μm (14.8/17.5 s vs. 16/27.9 s). This is the first demonstration of the novel coating implemented in a practically useful ethanol sensing structure with electromagnetically driven, mass-sensitive principle of operation and possible application in the food industry, medicine, pharmacology, or microelectronic industry.

Проектирани и изработени са кантилеверни елементи с помощта на технологии за микрообработка на силиций, с цел създаване на архитектура на газов сензор, използваща нов клас на карбиново обогатен наноматериал. Целта е да се изследва потенциалът на елемента като чувствителен сензор за летливи органични съединения (VOC), в частност за пари от етанол. Технологиата за производство е описана подробно, а масовата чувствителност и времето за отговор са сравнени за кантилеверни структури с различни дължини на микрогредите. Карбиново обогатен нанослой беше нанесен върху силициевите кантилевери чрез йонно-подпомагано импулсно плазмено нанасяне. Резултатите показват по-добра чувствителност и по-широк линеен участък в динамичния диапазон за по-дългия кантилевер с дължина 240 μm (0.71 mHz/ppm срещу 0.3 mHz/ppm), но по-кратко време за отговор и възстановяване, както и по-малък хистерезис за по-късия кантилевер с дължина 200 μm (14.8/17.5 s срещу 16/27.9 s). Това е първото демонстриране на новото покритие, реализирано в практически полезна структура за откриване на етанол с електромагнитно задвижван масочувствителен принцип на работа и възможно приложение в хранителната индустрия, медицината, фармацевтиката или микроелектронната индустрия.

Г.7.15. Mariya Aleksandrova, Chaitali Jagtap, Vishal Kadam, Sandesh Jadkar, Georgi Kolev, Krasimir Denishev and Habib Pathan, An Overview of Microelectronic Infrared Pyroelectric Detectors, *Engineered Science*, **2021**, 16, pp. 82–89, ISSN: 25769898 (SJR 2.4, Q1)

Pyroelectric materials can operate with a high thermodynamic efficiency, compared to thermoelectric, it do not require bulky heat sinks to maintain the temperature gradient. Many materials that can be used for the production of infrared pyroelectric detectors exist. The choice of one is a difficult task because of the many parameters involved in the calculation of the desired characteristics of the device that has to be designed, such as detector size, operating temperature,

frequency of operation, and etc. A material of lower performance than triglycine sulphate (TGS), but possessing high chemical stability, low loss, good figure of merit, high Curie temperature and good insolubility in water is the lithium tantalite. In this review, the pyroelectric properties of the various materials are discussed how they can improve the properties of detector in potential applications.

Пироелектричните материали могат да работят с висока термодинамична ефективност. В сравнение с термоелектричните, те не изискват обемисти радиатори, за да поддържат температурния градиент. Съществуват много материали, които могат да се използват за производството на инфрачервени пироелектрични детектори. Изборът на такъв материал е трудна задача поради множеството параметри, които трябва да се вземат предвид при изчисляването на желаните характеристики на проектираните устройства, като размер на детектора, работна температура, работна честота и т.н. Материал с по-ниска производителност от триглицин сулфат (TGS), но притежаващ висока химическа стабилност, ниски загуби, висока температура на Кюри и добра неразтворимост във вода, е литиев танталат. В тази статия се прави преглед на пироелектричните свойства на различните материали и как те могат да подобрят характеристиките на инфрачервени детектори в потенциални приложения.

Г.7.16. Tsanev, T., **Aleksandrova, M.**, Ivanova, T., Dobrikov, G., Investigation of Lead-free Potassium Niobate Thin Films on Silicon for Piezoelectric Transducers, *Proceedings of the 10th National Conference with International Participation, ELECTRONICA 2019*, Sofia, 16 May - 17 May 2019, 8825592, ISBN: 978-1-7281-3622-6.

KNbO₃ thin films are explored with possible application as piezoelectric transducers. The films are grown by vacuum radiofrequency sputtering and their thickness, uniformity, composition and piezoelectric response are studied as a function of the sputtering voltage, sputtering pressure and plasma power. Single layer sensing structure with aluminum electrodes is fabricated. The relation between the deposition conditions and the structure capacity and piezoelectric voltage is established. The peak value of the generated voltage is 2.89 V and its effective value is ~483 mV.

Изследват се тънки слоеве от KNbO₃ с възможно приложение като пиезоелектрични преобразуватели. Слоеве са нанесени чрез вакуумно ВЧ разпрашване, а тяхната дебелина, равномерност, състав и пиезоелектричен отговор са изследвани в зависимост от напрежението на разпрашване, налягането на разпрашващия газ и мощността на плазмата. Изработена е структура с един слой пиезоелектрик и с алуминиеви електроди. Установена е зависимостта между условията на нанасяне, капацитета на структурата и пиезоелектричното напрежение. Пиковата стойност на генерираното напрежение е 2.89 V, а ефективната стойност е приблизително 483 mV.

Г.7.17. Shahi, K., Singh, R.S., Singh, N.P., **Aleksandrova, M.**, Singh, A.K., Synthesis and characterization of PEDOT:PSS/ZnO nanowires heterojunction on ITO coated plastic substrate for

light-emitting diodes, *Materials Today: Proceedings*, **2019**, 15 (3), pp. 394–399, ISSN: 2214-7853 (SJR 0,304)

In this paper we report on heterojunction between the hole transporting polymer poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate (PEDOT: PSS) and zinc oxide (ZnO) nanowires grown on an indium tin oxide (ITO) coated polyethylene terephthalate (PET) plastic substrate. For the fabrication of heterojunction simple and low cost solution methods are used. The deposited films and heterojunction are characterized by scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), photoluminescence (PL) and electroluminescence (EL) measurements. Electroluminescent and photoluminescent spectra of the hybrid heterojunction show one ultraviolet (UV) near-band-edge emission peak. The current-voltage characteristic confirms the junction formation between the polymer and ZnO nanowires and shows good rectifying p-n junction diode type behaviour of the fabricated structure. The charge transfer process in heterojunction is explained by band energy diagram.

В тази статия се представят данни за хетеропреход между полимер за пренос на положителни заряди (дупки) - поли (3, 4-етилендиоокси-тиофен) полистиролсулфонат (PEDOT:PSS), и цинково-оксидни (ZnO) наножички, израснали върху гъвкава подложка от полиетилен терефталат (PET), покрита с индиево-калаен оксид (ITO). За производството на хетеропреход са използвани прости и евтини технологични процеси за нанасяне от разтвор. Нанесените слоеве и хетеропреходите между тях са характеризирани с помощта на сканиращ електронен микроскоп (SEM), рентгенова дифракция (XRD), фотолуминесцентни (PL) и електролуминесцентни (EL) измервания. Спектрите на електролуминесценция и фотолуминесценция на хибридна хетеросистема показват един емисионен пик в ултравиолетовия (UV) диапазон близо до границата на диапазона. Волт-амперната характеристика потвърждава образуването на съединение между полимера и ZnO наножичките и показва добро подобие на p-n преход на диод в изработената структура. Процесът на пренос на заряд в хетеропрехода е обяснен с помощта на зонната диаграма.

Г.7.18. Shahi, K., Singh, R.S., Singh, A.K., **Aleksandrova, M.**, Khenata, R., CdTe quantum-dot-modified ZnO nanowire heterostructure, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, **2018**, 124(3), 277, ISSN: 09478396 (IF 1.88, Q2)

The effect of CdTe quantum-dot (QD) decoration on the photoluminescence (PL) behaviour of ZnO nanowire (NW) array is presented in the present work. Highly crystalline and vertically 40–50 nm diameter range and 1 μm in length aligned ZnO NWs are synthesized using low-cost method. The crystallinity and morphology of the NWs are studied by scanning electron microscopy and X-ray powder diffraction methods. Optical properties of the nanowires are studied using photo-response and PL spectroscopy. CdTe QDs are successfully synthesized on ZnO nanowire surface by dip-coating method. ZnO NWs are sensitized with CdTe QDs characterized by transmission electron microscopy, energy-dispersive X-ray spectroscopy, and PL spectroscopy. The highly quenched PL intensity indicates the charge transfer at interface between CdTe QDs and ZnO NWs and is due to the formation of type-II heterostructure between QDs and NWs. Photo-response behaviour of heterostructure of the film is also been incorporated in the present work.

В настоящата работа е представен ефектът от декорацията с квантови точки (QD) на CdTe върху фотолуминесцентното (PL) поведение на масив от наножичкии (NW) от ZnO. Синтезирани са силно кристални и вертикално подредени ZnO наножички с диаметър в диапазона 40–50 nm и дължина 1 μm , използвайки евтин технологичен процес. Кристалността и морфологията на NWs са изследвани с помощта на сканиращ електронен микроскоп и рентгенова дифракция. Оптичните свойства на наножичките са изследвани чрез фото-отклик и PL спектроскопия. Квантовите точки CdTe успешно са синтезирани върху повърхността на наножичките от ZnO чрез химичен метод. ZnO NWs са сенсibiliзирани с QDs от CdTe и наблюдавани чрез трансмисионен електронен микроскоп, енергийнодисперсионна рентгенова спектроскопия и PL спектроскопия. Силно понижена PL интензивност показва пренос на заряд на интерфейса между QDs и ZnO NWs и е следствие от образуването на хетероструктура тип II между тях.

Г.7.19. Kolev, G., **Aleksandrova, M.**, Dobrikov, G., H. Pathan, Fartunkov, M., Denishev, K., Piezoelectric energy harvesting device with nanobranched ZnO on Polymer/Metal/Polymer coated flexible substrate, *Proceedings of the 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2017*, 2017, pp. 320–324, 7955456, ISBN: 978-1-5090-6691-9

This work reports about the fabrication of piezoelectric energy harvesting with ZnO nanostructure grown on polymeric based electrode. The piezoelectric film exhibits nanobranched morphology, which provide favorable conditions for dipoles orientation and thus the device is characterized with relatively low dielectric losses in the range of $0.4\text{-}3.9 \times 10^{-2}$ and piezoelectric voltage of 3.8V at 4.8 kg mechanical loading. The minimum weight at which piezoelectric reaction arises is 3 gr, corresponding to generated piezoelectric voltage of 200mV.

Докладва се за производството на енергия пиезоелектрична наноструктура от ZnO, формирана върху основа от полимерен електрод. Пиезоелектричният слой показва наноразклонена морфология, която осигурява благоприятни условия за ориентация на диполите и така устройството се характеризира с относително ниски диелектрични загуби в диапазона от $0,4\text{-}3,9 \times 10^{-2}$ и пиезоелектрично напрежение от 3,8 V при механично натоварване от 4,8 kg. Минималното натоварване, при което възниква пиезоелектричната реакция, е 3 g, което съответства на генерирано пиезоелектрично напрежение от 200 mV.

Г.7.20. Stoynova, A., **Aleksandrova, M.**, Dobrikov, G., Bonev, B., Influence of the heat generated in flexible OLEDs on their electrical behavior, *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, ISSE 2016*, Pilsen, 18 May - 22 May 2016, pp. 12–16, 7562872, ISBN: 978-1-5090-1389-0 (**SJR 0,176, Q4**)

In this work, variation of the main electrical parameters of flexible organic light-emitting diodes (FOLEDs) is studied as a function of the thermal conditions. Tested structures are consisted of polyethylene terephthalate (PET) as a flexible substrate, indium-tin oxide transparent conductive

anodes, polyphenylene vinylene derivative based emissive films and aluminum cathodes. Thermal degradation analysis of the FOLEDs characteristics is performed by IR thermography in broad range of voltages and driving current densities at different temperatures. The study of thermal distribution with the time provides important information for the thermal events in the operating FOLEd, as well as for the local temperature change, due to the presence of hidden defects. CFD thermal simulations of two types of test FOLEd samples were conducted. Experimental measurements of the distribution of surface temperature of the samples were carried out with an infrared camera. The obtained difference between the simulated and measured values is not greater than 5 °C at the beginning of degradation processes.

В тази статия се изследва изменението на основните електрически параметри на гъвкави органични светодиоди (FOLEDs) в зависимост от топлинните условия. Тестваните структури се състоят от полиетилен терефталат (PET) като гъвкава подложка, прозрачни проводими аноди от индиево-калаен оксид, излъчвателни слоеве на база производни на полифенилен винилен и алуминиеви катода. Анализ на термичната деградация на характеристиките на FOLEd е проведен с помощта на инфрачервена термография в широк диапазон от напрежения и плътности на управляващия ток при различни температури. Изследването на топлинното разпределение с времето предоставя важна информация за процеса на топоотвеждане в работещия FOLEd, както и за локалните температурни изменения, поради наличието на скрити дефекти. Проведени са топлинни симулации на два типа тестови FOLEd проби. Експерименталните измервания на разпределението на повърхностната температура на пробите са извършени с инфрачервена камера. Получената разлика между симулираните и измерените стойности не надвишава 5 °C в началото на процесите на топлинна деградация.

Г.7.21. Deo, S.R., Singh, A.K., Deshmukh, L., Singh, N.P., **Aleksandrova, M.P.**, Studies on Structural, Morphological and Optical Properties of Chemically Deposited CdS_{1-x}Se_x Thin Films, *Journal of Fluorescence*, **2016**, 26(2), pp. 459–469, ISSN: 10530509 (IF 1.48, Q3)

The thin films of CdS_{1-x}Se_x were successfully deposited over glass substrates by chemical bath deposition technique. Cadmium acetate, thiourea and sodium selenosulfate were used as source materials for Cd²⁺, S²⁻ and Se²⁻ ions, while 2-mercaptoethanol was used as capping agent. The various deposition conditions such as precursor concentration, deposition temperature, pH and deposition time were optimized for the deposition of CdS_{1-x}Se_x thin films of good quality and the films were annealed at 200° and 300 °C. The structural, morphological, chemical and optical properties were examined by various characterization techniques and discussed in detail. The optical band gap of CdS_{1-x}Se_x thin film samples were estimated and found in the range from 2.11 to 1.79 eV for as-deposited and annealed thin films.

Тънките филми на CdS_{1-x}Se_x са нанесени успешно върху стъклени подложки с помощта на химическа баня. Кадмиев ацетат и натриев селеносулфат са използвани като изходни материали за ионите Cd²⁺, S²⁻ и Se²⁻. Различните условия на нанасяне, като концентрация на прекурсора, температура на нанасяне, pH и време на нанасяне, са оптимизирани за получаване на тънки слоеве от CdS_{1-x}Se_x с добро качество, а слоевете са отгряни при 200° и

300 °C. Структурните, морфологичните, химическите и оптичните свойства са изследвани с помощта на различни техники за характеризиране. Оптичната забранена зона на опитните образци бе измерена в диапазона от 2,11 до 1,79 eV, съответно за необработените и отгрятите тънки слоеве.

Г.7.22. Deo, S.R., Singh, A.K., Deshmukh, L., Aleksandrova, M., CdZnSSe Thin Film for Photovoltaic Device, *Materials Today: Proceedings*, **2017**, 4(4), pp. 5537–5543, ISSN: 22147853

II-VI group quaternary semiconductor alloy thin films of cadmium zinc sulfoselenide (CdZnSSe) were prepared by chemical bath deposition technique on glass substrates. The deposition was carried out with various optimized deposition parameters such as concentration of precursor ions, deposition temperature, time, pH, etc. In order to obtain homogeneous thin films, triethanolamine (TEA) was used as complexing agent. A common cationic surfactant, cetyltrimethylammoniumbromide (CTAB) was used as a capping agent. The as-deposited thin films were annealed at different temperatures (i.e. 100°, 300° and 500°C) and their structural and optical properties have been investigated by XRD, SEM, EDS and UV-visible optical absorption studies. The optical band gap energy was found to decrease from 2.21 to 2.01 eV, with increase in annealing temperature exhibiting a red shift.

Тънки слоеве от полупроводникови твърди разтвори от II-VI група, кадмиев цинков сулфоселенид (CdZnSSe), бяха получени чрез техника за химично потапяне на стъклени подложки. Нанасянето беше извършено с различни оптимизирани параметри, като концентрация на прекурсорни йони, температура на нанасяне, време, pH и др. За получаване на хомогенни тънки слоеве е използван триетаноламин (TEA) като комплексообразуващ агент. Получените тънки слоеве са отгрявани при различни температури (100°, 300° и 500°C), а техните структурни и оптични свойства са изследвани чрез рентгенова дифракция (XRD), сканиращ електронен микроскоп (SEM), елементен анализ с рентгенова спектроскопия (EDS) и оптична абсорбция в UV-видим диапазон. Установено е, че ширината на оптичната забранена зона намалява от 2,21 до 2,01 eV с увеличаване на температурата на отгряване, показвайки изместване на спектъра на поглъщане в посока дъм дълговълновата му част.

Г.7.23. Pandiev, I., Antchev, H., Aleksandrova, M., A Low-Power Piezoelectric Energy Harvesting Circuit for Wearable Battery-Free Power Supply, *International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and System, MIXDES 2024*, 2024, pp. 225–230, Gdansk, Poland, 27 June-28 June 2024, ISBN: 978-83-63578-26-8

This paper presents the structure and principle of operation of a prototype low-power energy-harvesting circuit (with efficiency higher than 50 %) intended for AC-to-DC conversion, where the input signal is obtained from micro-power piezoelectric elements. The proposed electronic circuit prototype is intended to work as a wearable autonomous system that provides electrical energy obtained through mechanical vibrations in piezoelectric ceramic disks. The obtained electrical energy through a switching circuit is used to charge low-power supercapacitors. The electronic circuit consists of a bridge rectifier, a low-pass filter, a step-down (buck) synchronous converter, a

power-controlling system, and a window detector to produce a power-good signal. The designed electronic circuit of the control system allows for tuning the level of the output voltage to around 1.8 V, and the output discharge current reaches values higher than 0.5 mA. To verify the effectiveness of the proposed scheme, simulation, and experimental testing of the proposed prototype was carried out, as the obtained results confirmed the preliminary theoretical analyses and the derived analytical expressions for the basic electrical parameters.

Тази статия представя структурата и принципа на работа на прототип на маломощна схема за добив на енергия (с ефективност над 50 %), предназначена за преобразуване от променлив ток в постоянен, където входният сигнал се получава от микромощни пиезоелектрични елементи. Предложеният прототип е предназначен да функционира като носимо автономно устройство, което предоставя електрическа енергия, получена чрез механични вибрации в пиезоелектрични керамични дискове. Получената електрическа енергия се използва за зареждане на маломощни суперкондензатори чрез превключваща схема. Електронната схема се състои от мостов изправител, нискочестотен филтър, синхронен понижаващ преобразувател, система за контрол на мощността и детектор за генериране на контролен сигнал за стабилна мощност. Проектираната електронна схема на контролната система позволява настройване на нивото на изходното напрежение до около 1,8 V, а изходният ток на разреждане достига стойности над 0,5 mA. За да се потвърди ефективността на предложената схема, са проведени симулации и експериментално тестване на прототипа, като получените резултати потвърдиха предварителните теоретични анализи и изведените аналитични изрази за основните електрически параметри.

Г.7.24. Pandiev, I.M., Aleksandrova, M.P., Dynamic FPAA-based mixed-signal processing circuit for thin-film CdTe/Lead-free perovskite photodetectors, *Elektronika ir Elektrotechnika*, **2021**, 27(2), pp. 22–30, ISSN: 1392-1215 (**IF 1.059, Q3**)

New photodetector structure combining thinned CdTe film with lead-free perovskite photoelectric film was produced and investigated. This setting of the CdTe thickness results in photodetector parameters' competitiveness to the state-of-the-art in the field of advanced photoelectric materials. The device shows a promising sensitivity of $\sim 40 \mu\text{A/W}$, maximum responsivity of 10.6 mA/W at 460 nm, equal rise and fall times of 30 ms, and high linearity (maximum linearization error is less than 0.6 %). However, the optoelectronic performance of CdTe/lead-free perovskite structures integrated with signal processing circuit remains unexplored. For this purpose, Field Programmable Analogue Array (FPAA)-based mixed-signal processing circuit is developed for pulse width modulated electrical signal with duty cycle controlled by the illumination degree of the detecting photoelement. This novel approach guarantees a smooth change of the electrical output at a smooth change of the input illumination between the light and dark switching states and can be practically applied as a precise position detector of moving objects. The paper represents a synergistic connection between microelectronics, electronics, and signal technology.

Произведена е и е изследвана нова структура на фотодетектор, комбинираща тънък слой CdTe с фотоелектричен слой на база безоловен перовскит. Тази настройка на дебелината на CdTe води до конкурентоспособност на параметрите на фотодетектора спрямо най-съвременните решения в областта на фотоелектричните материали. Устройството показва обещаваща чувствителност от около $40 \mu\text{A/W}$, максимална чувствителност от 10,6 mA/W

при 460 nm, равни времена на нарастване и спадане на фронта на сигнала от 30 ms, и висока линейност (максималната грешка на линейността е по-малка от 0,6 %). Въпреки това, оптоелектронните характеристики на структурите CdTe/безоловен перовскит, интегрирани със схема обработваща сигнална, остават неизследвани. С тази цел, е разработена схема обработваща смесени сигнали на база на програмируеми аналогови матрици (FPAА) за сигнал с широчинно-импулсна модулация, с коефициент на запълване, контролиран от степента на осветеност на фотоелемента. Този нов подход гарантира плавна промяна на електрическия изход при плавна промяна на входната осветеност между напълно осветеното и тъмното състояние, и може да бъде практически приложен като прецизен детектор на позицията на движещи се обекти. Статията представя синергична връзка между микроелектрониката, електроника и обработка на сигнали.

Г.7.25. Aleksandrova, M.P., Specifics and challenges to flexible organic light-emitting devices, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 2016, paper id: 081697, ISSN: 1687-8434 (SJR 0,3; Q2)

Several recent developments in material science and deposition methods for flexible organic light-emitting devices (OLEDs) are surveyed. The commonly used plastic substrates are compared, according to their mechanical, optical, thermal, and chemical properties. Multilayer electrode structures, used as transparent electrodes, replacing conventional indium tin oxide (ITO) are presented and data about their conductivity, transparency, and bending ability are provided. Attention is paid to some of the most popular industrial processes for flexible OLEDs manufacturing, such as roll-to-roll printing, inkjet printing, and screen printing. Main specifics and challenges, related to the foils reliability, mechanical stability of the transparent electrodes, and deposition and patterning of organic emissive films, are discussed.

Направен е преглед на последните разработки в материалознанието и методите за получаване на гъвкави органични светодиоди (OLEDs). Обичайно използваните гъвкави подложки са сравнени по отношение на техните механични, оптични, термични и химически свойства. Представени са многослойни електродни структури, използвани като прозрачни електроди, които заменят конвенционалния индиево-калаен оксид (ITO), както и данни за тяхната проводимост, прозрачност и способност за огъване. Обърнато е внимание на някои от най-популярните индустриални процеси за производство на гладки OLEDs, като ролково итегляне, мастиленоструен печат и ситопечат. Обсъдени са основните спецификации и предизвикателства, свързани с надеждността на фолиото, механичната стабилност на прозрачните електроди и нанасянето и фотолитографското структуриране на органични светоизлъчващи слоеве.

Г.7.26. Rusev, R.P., Angelov, G.V., Tzaneva, B.R., Aleksandrova, M.P., Improving Piezo Effect of Egg Shell Composition by Rochelle Salt Nanocrystals, *57th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies*, ICEST 2022, Ohrid, 16 June-18 June 2022, ISBN: 978-1-6654-8500-5

Piezoelectricity of deposited layers of eggshell composition are investigated for green energy and electronics applications. The layers are deposited by Electrophoresis onto aluminum plates at 60 V for 2 minutes. They exhibit stronger piezo modulus compared to layers obtained by different techniques. An additive of biocompatible Rochelle Salt is used for further improvement of the piezo modulus of the egg shell composition. The Rochelle Salt ingredient crystallizes in nanocrystals in the egg shell composition. This increases multiple folds the piezo modulus of the layer and it becomes comparable to the moduli of inorganic monocrystals.

Изследвана е пиезоелектричната способност на слоеве от вещество, съдържащо се в състава на яйчени черупки за приложения в зелената енергия и електрониката. Слоевете са нанесени чрез електрофореза върху алуминиеви електроди при 60 V за 2 минути. Те демонстрират посилен пиезоелектричен модул в сравнение със слоевете, получени с различни техники. Добавка на биосъвместима сол на Роше се използва за допълнително подобряване на пиезоелектричния модул. Тази съставка кристализира в нанокристали в състава на яйцата. Това значително увеличава пиезоелектричния модул на слоя и той става сравним с тези на някои от неорганичните монокристали.

Г.7.27. Rade Tomov, **Mariya Aleksandrova**, Spray-deposition of MoS₂ Thin Films and Their Application in Biosensors, *5th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems, Veliko Tarnovo, 20-22 November 2024, CIEES 2024*, ISBN: 979-8-3503-5286-3

In this work, the influence of the parameters of ultrasonic deposition of water solution of MoS₂ was studied and sensing structures for sweat biomarkers were fabricated using the optimal parameters. The optimal flow rate of the ultrasonically atomized solution was determined to be 0.2 mL/min. Mo and Ni electrodes were deposited by vacuum sputtering and their effect on the response of the produced chemoresistive sensors was investigated. The sensitivity of the structures was measured under the influence of NH₃, NaCl and MgCl₂. The most stable response was from sensors with Mo electrodes towards NH₃.

В настоящата работа е изследвано влиянието на параметрите на ултразвуковото пулверизиране на воден разтвор на MoS₂, като бяха произведени сензорни структури за биомаркери на потта, използвайки оптималните параметри. Оптималният дебит на ултразвуковото пулверизиране на разтвор определен на 0,2 mL/min. Електродите от Мо и Ni са нанесени чрез вакуумно разпрашване и е изследвано тяхното въздействие върху реакцията на произведените хеморезистивни сензори. Чувствителността на структурите е измерена под влиянието на NH₃, NaCl и MgCl₂. Най-стабилният отговор е към NH₃ от сензорите с Мо електроди.

Г.7.28. Rusev, R.P., Angelov, G.V., Tzaneva, B.R., **Aleksandrova, M.P.** Electrophoretic Deposition of Rochelle Salt on Cu₂O Plate, *56th International Scientific Conference on*

Information, Communication and Energy Systems and Technologies, ICEST 2021 - Proceedings, Sozopol, 16 June - 18 June 2021, pp. 107–110, 9483526, ISBN: 978-1-6654-2887-3

A new method for electrophoretic deposition of piezolayers is developed. Rochelle Salt is deposited over a plate of Cu_2O at a voltage of 7 V for 5 minutes. The investigation using scanning electron microscopy showed that a nanosized sublayer of microscopic crystals was grown. The generated voltage is with 622 mV amplitude. The obtained piezo module d_{33} is 223.1 pC/N which is comparable to the state-of-the-art deposition methods.

Разработен е нов метод за електрофоретично нанасяне на пиезослоеве. Сол на Рошее е нанесена върху електрод от Cu_2O при напрежение от 7 V за 5 минути. Изследването с помощта на сканиращ електронен микроскоп показва, че е израснал нанослой от микроскопични кристали. Генерираното от това напрежение е с амплитуда 622 mV. Полученият пиезоелектричен модул d_{33} е 223,1 pC/N.

Г.7.29. Mrigal, A., Addou, M., Jouad, M.E., Choukri, N.E., **Aleksandrova, M.**, Structural and electro-optical properties of Sn-doped VO_2 films elaborated by spray pyrolysis, *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, Sofia, 10 May - 14 May 2017, ISSE 2017*, 8000894, ISBN: 978-1-5386-0582-0

In this study, we focus on the growth of thin films of undoped and Sn doped vanadium dioxide thin films deposited by spray pyrolysis on glass substrates. All the samples were grown at a fixed temperature of 450°C for the time duration of 10 min, and the concentration of the precursor solution was fixed at 0.015M. Two different Sn doping concentrations (2% and 4%) were studied in term of optical transmission T and electrical resistance R change. VO_2 films doped with 2% of Sn showed transmission of 85% at a wavelength of 2000 nm and at a temperature of 25 °C, and it becomes less than 42% for the same wavelength at 90 °C. Electrical measurements as a function of the temperature of VO_2 films doped 2% of Sn show a difference of about two orders of magnitude between semi-conductor and metallic state.

В това изследване фокусът е върху растежа на тънки слоеве от нелегиран и легиран с Sn ванадиев диоксид, които са нанесени чрез метода спрей пиролиза върху стъклени подложки. Всички проби са формирани при фиксирана температура от 450 °C в продължение на 10 минути, а концентрацията на прекурсорния разтвор е фиксирана на 0.015M. Изследвани са две различни концентрации на легиране с калай (2% и 4%) по отношение на стойността на оптично пропускане T и промяната в електрическото съпротивление R. Слоеве VO_2 , легирани с 2% Sn, показват пропускане от 85% при дължина на вълната от 2000 nm и температура от 25 °C, а при 90 °C тя спада до по-малко от 42% при същата дължина на вълната. Електрическите измервания в зависимост от температурата на VO_2 слоевете, легирани с 2% Sn, показват разлика от около два порядъка между полупроводниковото и металното състояние.

Г.7.30. Kolev, G., Aleksandrova, M., Vucheva, Y., Denishev, K. Thin film microsensing elements, technology and application in microsystems for environment control, *J. Phys.: Conf. Ser.* **2014**, 559, 012015, ISSN: 1742 -6596 (**SJR 0.26**)

In this paper microsensing elements with thin piezoelectric films are presented. Three different materials from the basic types-ceramic, metal oxide and polymer, in microsystems for environment parameters control are used. Zinc oxide (ZnO) and lead zirconium titanate (PZT) by sputtering technology from hot targets are deposited. The optimal parameters of the process and thickness of the layers are presented. Layers of piezoelectrical polymer poly (vinylidene fluoride) (PVDF) were prepared by spray deposition technique. The microelements (MEMS) with these piezoelectric films are proposed for direct and indirect measuring of parameters as pressure, vibration, gas and liquid sensing, fluid flow, etc.

В тази статия се представят микросензорни елементи с тънки пиезоелектрични слоеве. Използвани са три различни материала от основните типове – керамика, метал-оксид и полимер, в микросистеми за контрол на параметри на околната среда. Цинковият оксид (ZnO) и оловно-циркониевият титанат (PZT) са нанесени чрез технология на вакуумно разпрашване. Представени са оптималните параметри на процеса и дебелината на слоевете. Слоевете от пиезоелектричния полимер поли (винилиден дифлуорид) (PVDF) са изготвени по метода на спрей нанасяне. Микроелементите (MEMS) с тези пиезоелектрични слоеве са предложени за директно и индиректно измерване на параметри като налягане, вибрации, откриване на газове и течности, поток на флуиди и др.

Група „Г.8“

Г.8.1. Mariya Aleksandrova, Rade Tomov, Education and training through research in fabrication of micro- and nanosystems at the Technical University of Sofia, *ELARA TECHNIQUES AND TECHNOLOGIES to Support Sustainable Education of ACADEMIC SPHERE*, Year I, Book 1, **2023**, EL@RA CONFERENCE PROCEEDINGS, 110-119, EUT+ Academic Press, ISSN: 2815-5254.

This paper presents a training through research laboratory course on ‘Fabrication of micro- and nanosystems’. The course aims to provide master engineering students in specialty of ‘Microtechnology and nanoengineering’ a hands-on experience involving up-to-date integrated circuit (IC) and microelectromechanical system (MEMS) design, materials selection, fabrication processes flow, packaging, and testing. Through project-based learning, students develop their design of experiment and communication skills due to the presence of individual and group laboratory tasks. The course content and examples of the workflow are presented together with details about the professional realization of the graduated students and statistical data. With the developed course, the Technical University of Sofia and particularly the Department of Microelectronics address very well the problem with the connection between the university and the employing companies from one side, and the university and research from the other side.

В тази статия се представя курс на обучение, следващ метода „учене чрез провеждане на научни изследвания“ по дисциплина „Технология на микро- и наносистеми“. Курсът има за цел да предостави практически опит на магистър-инженери със специалност „Микротехнологии и наноинженеринг“, включващ актуален дизайн на интегрални схеми (IC) и микроелектромеханични системи (MEMS), избор на материали, производствени процеси, корпусиране и тестване. Чрез обучението основано на проекти, студентите развиват умения за проектиране на експеримента и комуникация, благодарение на индивидуалните и групови лабораторни задачи. Съдържанието на курса и примери за работния поток са представени заедно с информация за професионалната реализация на дипломираните студенти и статистически данни. С разработения курс Техническият университет в София и по-специално катедра „Микроелектроника“ добре адресират проблема с връзката между университета и работодателите от една страна и университета и научните изследвания от друга.

Г.8.2. M Aleksandrova, Solar Energy Sources Based on Perovskites – Future Research Prospects and Industrial Opportunities, *Advanced Materials Proceedings* 6 (1), 21010420, 2021, ISSN: 2002-4428

Perovskite materials have become one of the hottest topics in solar energy conversion in recent years. They reached similar efficiency to the polycrystalline silicon solar cells, and also found applications in a variety of fields out of energy harvesting, such as lighting. The main advantage of this class of materials is the ease of processing, a line with the large-scale solution fabrication techniques. Although the technology still faces some challenges related to long-term stability the prospects for commercialization at the beginning of 2021 are much more realistic in comparison with the forecasts released at the end of the previous 2019 year. In this perspective articles analysis of the research and market perspectives of the perovskite solar cells is made.

Перовскитните материали са една от най-горещите теми в преобразуването на слънчева енергия през последните години. Те достигнаха ефективност, подобна на поликристалните силициеви слънчеви клетки и намериха приложения в различни области извън добива на енергия, като осветление. Основното предимство на този клас материали е лесната обработка, в съответствие с техниките за производство от разтвор, но в голям мащаб. Въпреки че технологията все още среща някои предизвикателства, свързани с дългосрочната стабилност, перспективите за комерсиализация в началото на 2021 г. са значително по-реалистични в сравнение с прогнозите, публикувани в края на предходната 2019 година. В тази статия е направен анализ на изследователските и пазарните перспективи на перовскитните слънчеви клетки.

Г.8.3. M Aleksandrova, Piezoelectric Alternative Energy Sources as a Part of the Global Energy Concerns – Future Prospects in the Science and Market, *Advanced Materials Letters* 11 (10), 20101561, 2020, ISSN: 0976-3961

Portable and smart electronic devices are powered by batteries whose life is limited. On the other hand, in recent years the idea of renewable energy and methods of its obtaining by environmentally

friendly technologies gained popularity. The conversion of energy from various sources in the surrounding environment (energy harvesting) solves the problem of battery-less power supply and satisfies the modern concepts of "clean" energy. One of the mechanisms for electrical energy generation is the piezoelectric effect, which relies on mechanical activation (vibrations, pressure, force) and the corresponding devices are piezoelectric energy harvesters. This article has overviewed the global situation, efforts, and prospects of the development of piezoelectric materials and harvesting devices in terms of research interest, industrial implementation, sectors of application and market forecasts.

Портативни и умни електронни устройства се хранят от батерии, чийто живот е ограничен. От друга страна, през последните години идеята за възобновяемата енергия и методите за нейното получаване чрез екологично чисти технологии набраха популярност. Преобразуването на енергия от различни източници в околната среда (добив на енергия) решава проблема с безбатерийното хранене и отговаря на съвременните концепции за "чиста" енергия. Един от механизмите за генериране на електрическа енергия е пиезоелектричният ефект, който разчита на механична активация (вибрации, налягане, сила), а съответните устройства са пиезоелектрични устройства за добив на енергия. Тази статия предоставя преглед на глобалната ситуация, усилията и перспективите за развитие на пиезоелектрични материали и устройства за добив на енергия по отношение на изследователския интерес, индустриалното прилагане, секторите на приложение и пазарните прогнози.

Г.8.4. I Pandiev, **M Aleksandrova**, Design and Implementation of Dynamic FPAA Based Interface Circuit for Thin Film Lead-Free Piezoelectric Sensors, *Advanced Materials Letters* 11 (10), 20101565, **2020**, ISSN: 0976-3961

In this paper, we propose interface electronic circuit for thin film piezoelectric sensing structures. An interface electronic prototype based on dynamically programmed Field Programmable Analog Array (FPAA) is configured to implement Root-Mean-Square (RMS) to DC (RMS-to-DC) conversion process, based on direct method. The studied piezoelectric sensors are prepared by conventional microfabrication technology, involving new lead-free piezoelectric polymer-oxide composite, consisting of gallium doped zinc oxide and polyvinylidene fluoride. The devices show sensitivity to low frequency, weak mechanical loads and exhibit excellent stability at multiple vibrational cycles. It was found that a mass load of 80 g causes DC voltage of 111.8 mV with instability of less than 10 mV, which is sufficient for detection purposes.

В тази статия е предложена интерфейсна електронна схема за тънкослойни пиезоелектрични сензорни структури. Интерфейсният електронен прототип, базиран на динамично програмирана програмируема аналогова матрица (FPAA), е конфигуриран да реализира процеса на преобразуване от ефективно в постиянно напрежението, използвайки директен метод. Изследваните пиезоелектрични сензори са изготвени чрез конвенционална микрообработваща технология, включваща нов безоловен пиезоелектричен полимерно-оксиден композит, състоящ се от галиево-легиран цинков оксид и поли(винилиден дифлуорид) (PVDF). Устройствата показват чувствителност към ниски честоти и слаби

механични натоварвания и демонстрират отлична стабилност при многобройни вибрационни цикли. Установено е, че масонатоварване от 80 g води до получаване на постоянно напрежение от 111,8 mV с нестабилност под 10 mV.

Г.8.5. M. Aleksandrova, Application of the impedance spectroscopy for characterization of thin-film perovskite photoelectric devices, *Proceeding of the Fifth Int. Scientific Conference "Alternative Energy Sources, Materials & Technologies (AESMT'22)*, 27 - 28 June, 2022, Veliko Tarnovo, Bulgaria, vol. 4, 95-96, COBISS.SI-ID – 9235833, ISBN: 2603-364X

Exploring the fundamentals of the perovskite materials for solar cells and their interfaces with the buffer or electrode layers is of great importance for the materials quality and devices design optimization. Despite of the various methodologies that are used to estimate the optoelectronic behavior and stability of the thin-film solar cells, in depth analysis of the processes, especially in the lead-free photoconverters still lacks. Such analysis is possible if impedance spectroscopy (IS) technique is applied to the solar energy harvesting samples. In this paper, the IS is applied for investigation of the processes dynamics in cells with a lead-free perovskite and interfacing metal-oxide transporting layer. Equivalent circuit model (ECM) is proposed to explain the spectra at the different frequencies. In this way, processes like drift and diffusion of ions are identified and the cell's efficiency and stability can be ascribed to the results obtained after ECM determination.

Изследването на основите на перовскитните материали за слънчеви клетки и техните интерфейси с буферни или електродни слоеве е от голямо значение за качеството на слоевете и оптимизацията на дизайна на устройствата. Въпреки различните методологии, използвани за оценка на оптоелектронното поведение и стабилност на тънкослойните слънчеви клетки, задълбочен анализ на процесите, особено при безоловните фотопреобразуватели, все още липсва. Такъв анализ е възможен, ако се приложи техниката на импедансна спектроскопия (IS) върху соларните образци. Тук IS е приложена за изследване на динамиката на процесите в клетки с безоловен перовскит и интерфейсен метал-оксиден преносен за токоносителите слой. Предложен е еквивалентен модел на схема (ECM), за да обясни спектрите при различни честоти. По този начин се идентифицират процеси, като дрейф, дифузия на йони, ефективността и стабилността на клетката.

Г.8.6. G Kolev, M Aleksandrova, I Todorov, M Zahariev, P Mladenov, Krassimir Denishev, Design of flexible piezoelectric energy harvesting device with optimized performance, *Materials, Methods & Technologies* 12 (2018), 256-265, ISSN: 1314-7269, COBISS-ID: 14196246

In this paper, we demonstrate fabrication of environmental friendly flexible piezoelectric generator and propose optimization strategy for its performance by a formation of stress concentrators in the piezoelectric material. The entire structure is characterized with improved electrical response to mechanical stimuli, although the thickness of the used piezoelectric film is in nanosized range. Piezoelectric oxide films are grown by vacuum sputtering and patterned in a specific way by applying lift-off microfabrication technology. The design is based on simulation analysis, showing a concentration of peak stress in specific areas, causing enhanced charge generation. As a result, the piezoelectric coefficient of 11.28 pC/N is achieved and it is superior, compared to the device

without concentrators. This value is competitive to devices using lead-containing lead zirconium titanate (PZT), as well as to devices with millimeter thickness of the piezoelectric material. Vibrational dynamic test in the low- frequency range up to 50 Hz shows that the generated voltage after patterning increases with 12.8 %, reaching ~677 mV. In addition, the device with concentrators can stand 187 000 bends without failure and the useful capacity, which is greater than 250 pF, decreases by 7%.

В тази статия е демонстрирано производството на екологично чист гъвкав пиезоелектричен генератор и е предложена стратегия за оптимизация на производителността му чрез образуване на концентратори на напрежение в пиезоелектричния материал. Цялата структура се характеризира с подобрен електрически отговор на механични стимули, въпреки че дебелината на използвания пиезоелектричен слой е в нанометровия диапазон. Пиезоелектрични оксидни слоеве са нанесени чрез вакуумно разпрашване и са оформени по специфичен начин с прилагане на технология за обратна фотолитография (свличане). Дизайнът е основан на симулационен анализ, който показва концентрация на пиковото напрежение в специфични области, причиняваща увеличена генерация на заряд. В резултат, е постигнат пиезоелектричен коефициент от 11,28 pC/N, който е значително по-висок в сравнение с устройството без концентратори. Тази стойност е конкурентоспособна на устройства, използващи оловно-циркониев титанат (PZT), както и на устройства с милиметрова дебелина на пиезоелектричния материал. Вибрационният динамичен тест в нискочестотния диапазон до 50 Hz показва, че генерираното напрежение след литографското структуриране се увеличава с 12,8 %, достигайки около 677 mV. Освен това, устройството с концентратори може да понесе 187 000 огъвания без повреда, а полезният капацитет, който е по-голям от 250 pF, намалява само с 7%.

Г.8.7. Мария Александрова, Валентин Видеков, Красимир Денишев, Тодор Тодоров, Галя Маринова и Емил Манолов, Създаване и апробиране на нова магистърска специалност “Микротехнологии и наноинженеринг” във ФЕТТ на ТУ-София, НАЦИОНАЛЕН ФОРУМ “ЕЛЕКТРОНИКА 2015”, Национален дом на науката и техниката – София, 14 - 15 май 2015 г, Сборник доклади, стр. 8-13, **2015**. ISSN: 1314-8605

Във връзка с изпълнението на проект BG051P0001-3.1.07-0048 по ОП „Развитие на човешките ресурси” на ЕС, към ФЕТТ бе създадена магистърската специалност “Микротехнологии и наноинженеринг”, която е съвместна с МТФ и ФТК. При съставянето на учебния план и учебните програми са съобразени два основни фактора: проучено е сред работодателите търсенето на специалисти с определени познания в областта и са проучени сродни специалности във водещи западни университети. Въвеждат се нови подходи, като проектно-ориентирано обучение, акцент върху практическите занятия с увеличен хорариум на лабораторните упражнения, електронно менажиране на учебния процес, ангажиране вниманието на студентите по тематиката на дисциплините със задачи за допълнителна самоподготовка, домашни работи, курсови работи и проекти. Обучението на първия випуск студенти по новата специалност стартира през учебната 2014/2015 г.

Regarding the implementation of project BG051PO001-3.1.07-0048 from OP "Human Resources Development" of the EU, novel MSc specialty "Microtechnology and nanoengineering" was created in FEET in collaboration with the Faculty of Industrial Technology and Faculty of Telecommunication. In the curriculum and syllabuses two main factors have been taken into account: inquiries among the employers, seeking professionals with specific expertise in the field and study of similar specialties in the leading foreign universities. New educational approaches have been introduced, such as project-oriented training, emphasis upon practical exercises with increased hours per laboratory work, electronic management of the educational process, engaging the attention of the students to the subject of the disciplines by additional tasks for self-study, homeworks, assignments and projects. The training of the first class of students in the new specialty has been launched in the academic year 2014/2015.

Г.8.8. Емил Манолов, Ивайло Пандиев, Елица Гиева, Йорданка Петрова, Павлина Колева, **Мария Александрова**, Организация и управление на проект за актуализиране на учебни планове и програми в Технически университет – София, Трета Международна конференция „Техника. Технологии. Образование. Сигурност” на 28 и 29 май 2015 г., Велико Търново, 2015, Сборник доклади, бр. 5, стр. 22-25. ISSN: 1310 – 3946

Съвременните проекти за подобряване качеството на обучение се характеризират с голям брой задачи, много участници и разнородна целева група от студенти. Това поставя въпроса за ефективността на управление на многообразието от дейности през целия период на проекта. Докладът е посветен на проект по приоритетна ос „Подобряване качеството на образованието и обучението в съответствие с потребностите на пазара на труда за изграждане на икономика, основана на знанието” в рамките на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси” на Европейския съюз.

Modern projects for improving the quality of education are characterized by a large number of tasks, many participants and a diverse target group of students. This raises the question of the effectiveness of managing the diversity of activities throughout the project period. The report is dedicated to a project under the priority axis "Improving the quality of education and training in accordance with the needs of the labor market for building a knowledge-based economy" within the framework of the Operational Program "Human Resources Development" of the European Union.

Г.8.9. **Mariya Aleksandrova**, G. Dobrikov, S. Andreev, Comparative Study of Thin and Thick Film Technology for Organic Light Emitting Structures Preparation, International Journal of Advances in Engineering Science and Technology, issue 1, pp. 42-48, **2011**, ISSN: 2321 –8991

In this paper two types of organic light emitting devices are prepared by use of thin film and thick film technology. For thin organic film deposition is used spin coating and for thick organic layer deposition is applied method screen printing. Morphology of the layers deposited by both techniques is compared and its influence of the device’s performance is commented. Impedance spectroscopy and traps energy measurements are applied for electrical characterization of the samples. Important electrical parameters like boundary operational frequencies, activation energy

of the traps, capacitance, contact and bulk resistances are calculated and compared for both types of devices.

В тази статия са изготвени два типа органични светодиодни устройства, използвайки тънкослойна и дебелослойна технология за производство. За нанасяне на тънкия органичен слой е използвано центрофужно нанасяне, а за дебелия органичен слой - ситопечат. Морфологията на слоевете, нанесени с двете техники, е сравнена и е коментирано влиянието ѝ върху производителността на устройствата. Импедансната спектроскопия и измерванията на енергията на уловките (дефектите в решетката) са приложени за електрическа характеристика на образците. Важни електрически параметри, като гранични работни честоти, активационна енергия на дефектите, капацитет, контактни и обемни съпротивления, са изчислени и сравнени за двата типа устройства.

Група „Г.9“

Г.9.1. Aleksandrova, M. *Production and application of thin films в колективна монография Comprehensive Guide for Nanocoatings Technology, Volume 4: Application and Commercialization, 2015*, pp. 259–314, ISBN 978-163482687-7, Nova Science Publishers, New York, USA, EID 2-s2.0-85152980807

Contemporary level of development of the micro- and nanoelectronics is based on application of different thin films (metallic, dielectric, semiconducting), building the electronic devices. There is a great variety of films functions in the construction of the devices, such as, for example, electrodes and injecting coatings for electroluminescent devices, electrochromic coatings for displays and "smart" windows, gas sensors, etc. Without doubt, currently one of the most spread classes of materials, implemented as thin nanometer sized coatings, are the metal oxides. In this chapter mainly the physical vapor deposition (PVD) techniques for production of metal oxide films will be discussed.

Съвременното ниво на развитие на микро- и наноелектрониката се основава на приложението на различни тънки слоеве (метални, диелектрични, полупроводникови), изграждащи електронни устройства. Съществува голямо разнообразие от функции на слоевете в конструкцията на устройствата, като например електроди и инжекционни покрития за електролуминесцентни устройства, електрохромни покрития за дисплеи и "умни" прозорци, газови сензори и др. Безспорно в момента един от най-разпространените класове материали, реализирани като тънки покрития с наноразмерна дебелина, са метал-оксидите. В тази глава ще бъдат обсъдени основно техниките за физично отлагане от паро-газова фаза (PVD) за производството на металооксидни слоеве.

Г.9.2. Aleksandrova, M. *Polymer Light-Emitting Devices by Solution Processing*, в колективна монография *Polymers for Light-Emitting Devices and Displays, 2020*, pp. 15–49, ISBN:9781119654605, Scrivener Publishing LLC – Wiley, Hoboken, NJ 07030, USA

Solution processing of organic-based light-emitting devices (OLEDs) has been widely studied as a technology for low-cost, large area fabrication of optoelectronic devices. This chapter focuses on the usage of polymer films deposited by solution processing for the manufacturing of different single-colored or fill-colored electroluminescent displays. The survey focuses on the polymer molecules engineering and devices architecture for creating highly efficient polymer light-emitting devices (PLEDs) with parameters compatible to the commercially available OLED using small molecules. The relevance of the materials selection and deposition process modes are highlighted, in terms of energy bands alignment, smoothening of the films surfaces, and lack of intermixing at the layer interfaces. All these factors are crucial for achieving stable and efficient PLED. Some of the main achievements and challenges reported in the last few years are summarized and discussed in relation with the turn-on voltage, current density, maximum brightness, luminous efficiency, and possibility for commercialization of the devices. New light-emitting, hole and electron transporting materials, as well as electrodes and substrates materials are considered.

Обработката на разтвори за органични светодиодни устройства (OLED) е широко изследвана технология за рентабилно, обработващо големи площи производство на оптоелектронни устройства. Тази глава се фокусира върху използването на полимерни слоеве, нанесени от разтвор, за производството на различни едноцветни или многоцветни електролуминесцентни дисплеи. Проучването акцентира върху инженеринга на полимерните молекули и архитектурата на устройствата за създаване на високо ефективни полимерни светодиодни устройства (PLEDs) с параметри, съвместими с търговски наличните OLED, използващи малки молекули с ниско молекулно тегло (органични кристали). Подчертано е значението на избора на материали и режимите на нанасяне по отношение на подравняването на енергийните нива, изглаждането на повърхностите на слоевете и липсата на смесване на материалите при интерфейсите между слоевете. Всички тези фактори са решаващи за постигането на стабилен и ефективен PLED. Някои от основните постижения и предизвикателства, отчетени през последните години, са обобщени и обсъдени в контекста на напрежението на включване, плътността на тока, максималната яркост, светлинната ефективност и възможността за комерсиализация на устройствата. Разглеждат се нови светоизлъчвателни, и транспортни за електроните и за дупките материали, както и материали за електроди и подложки.

Г.9.3. R. Aepuru, **M. Aleksandrova**, Ch. N. Rao, S. Sahare, A. D. Savariraj, Ramalinga Viswanathan Mangalaraja, Transparent conducting electrode materials for solar cell technologies в колективна монография *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science: Solid State Synthetic Methods*, **2021**, pp. 377–407, ISBN 978-0-12-819720-2, Elsevier, Amsterdam, Netherlands

High transparency and conductive materials have captivated potential interest as transparent conducting electrodes (TCEs) in modern optoelectronic devices (e.g., solar cells). Several alternative TCEs have been developed in recent years to replace commercial ITO electrodes. This includes materials from transparent conductive oxides (TCOs) to novel electrodes made from doping with different metals/semiconductors and 2-D hybrid electrodes that integrate TCOs or

dielectrics with nanowires, metal grids, and metal thin films. In this chapter, the most relevant TCEs developed to date are presented with their fundamental properties that are emphasized toward the applications for high-efficiency solar cells. The trade-off properties such as optical and electrical conductivity of various TCEs are discussed. The information provided will serve for selecting and developing suitable transparent electrodes according to specific application.

Високата прозрачност и проводимост на материалите привлеккоха потенциален интерес като прозрачни проводящи електроди (TCEs) в съвременните оптоелектронни устройства (напр. слънчеви клетки). През последните години бяха разработени няколко алтернативни TCEs с цел замяна на търговските електроди от ИТО. Това включва материали от прозрачни проводящи оксиди (TCOs), нови електроди, произведени чрез легиране с различни метали/полупроводници, и хибридни 2-D електроди, които интегрират TCOs или диелектрици с наножици, метални решетки и тънки метални нанопокрития. В тази глава са представени най-значимите TCEs, разработени до момента, с акцент върху техните основни свойства и приложения за високоефективни слънчеви клетки. Обсъждат се компромисните свойства, като оптичната и електрическата проводимост на различни TCEs. Предоставената информация ще служи за избор и разработване на подходящи прозрачни електроди в зависимост от конкретното приложение.

Г.9.4. S. Sreevidya, K. S. Subramanian, Y. Katre, J. Singh, A. K. Singh, M. Aleksandrova, R.h Khenata, Green Nanostructures Synthesis and Spectroscopic Characterizations в колективна монография *Nanomaterials for Spectroscopic Applications*, **2021**, 103-136 , eBook ISBN 9781003160335, Jenny Stanford Publishing – Taylor&Francis, New York, USA

The driving force for the formulation of an eco-friendly green nanoparticles are the powerful secondary metabolites present in the plant kingdom. In the forthcoming sections, a brief note about green nanostructural synthesis and its characterization have been explored. The biodegradable plant kingdom is acknowledged well as a suitable substitute for physical/chemical techniques in the green nanostructural formulations. Many factors like climatic environment, minerals present, nature of the soil, pollution, etc., regulate the concentration and the composition of Sec-Met of the plant. Utilization of plant Sec-Met in technological advancement is visualized for the green nanostructural fabrication of NPs. Plant's vital Sec-Met present in the above-said species like sugars, enzymes, polyphenols, flavonoids, terpenoids, fats, alkaloids and others have an essential part in reduction and capping of the salt-precursors into NPs. The Sec-Met present has stimulated the research community to interlace the essence of plants with material science, chemistry, and physics to offer a rustic output.

Движещата сила за формулирането на екологични наночастици са мощните вторични метаболити, присъстващи в растителното царство. В следващите раздели е разгледано кратко изложение относно синтеза на зелени наноструктури и тяхната характеристика. Биоразградимото растително царство се признава като подходящ заместител на физическите/химичните техники в „зелените“ наноструктурни формации. Много фактори, като климатичната среда, наличието на минерали, видът на почвата, замърсяването и др., регулират концентрацията и състава на вторичните метаболити на растението.

Използването на вторични метаболити на растенията в технологичния напредък е визионерски за „зеленото“ производство на наночастици. Жизненоважните вторични метаболити на растенията, присъстващи в посочените видове, като захари, ензими, полифеноли, флавоноиди, терпени, мазнини, алкалоиди и други, играят важна роля в редукцията и капирането на сол-предшествениците в наночастици. Присъстващите вторични метаболити са вдъхновили изследователската общност да свърже същността на растенията с материалознанието, химията и физиката, за да предложи подход за ефективно завършване на този процес.

Е.23.1. Мария Александрова, учебник „Технологии за микро- и наносистеми“ — Издателство на ТУ-София, 2023, ISBN: 978-619-167-514-2

В учебника са разгледани основните технологични процеси за реализацията на микроелектронни и микроелектромеханични системи (MEMS). Дадени са примери за приложението на тези технологии в съвременни приложения, като микросензори и микроактуатори в автомобилната електроника, микросензори за измерване на параметрите на околната среда, MEMS микрофони, микродюзи и микропомпи и др. По-конкретно, включените теми обхващат: Материали, използвани в технологията на микро- и наносистемите; Високотемпературни процеси и методи за нанасяне на тънки слоеве от газова фаза; Топологично формиране и селективно ецване на материали; Технология на триизмерни структури в микро- и наносистемите; Монтажни процеси за микро- и наносистеми; Технология на микро- и наносистемите, реагиращи на натиск, деформация и вибрации. Сензори за налягане. Микрофони. Преобразуватели с повърхностни акустични вълни; Технология на автомобилните микро- и наносензори и системи; Технология на химичните сензори; Технология на микро- и наноактуаторите елементи. Учебникът е предназначен за студентите от специалност „Микро-технологии и наноинженеринг“ на Факултет по електронна техника и технологии (ФЕТТ) при Техническия университет – София, изучаващи едноименната дисциплина „Технологии за микро- и наносистеми“, но може да използва и от студенти от други специалности, както и от докторанти и инженери, работещи в областта на технологиите в електронното производство.

The book discusses the main technological processes for fabrication of microelectronic and microelectromechanical systems (MEMS). It provides examples of the application of these technologies in modern applications, such as microsensors and microactuators in automotive electronics, microsensors for measuring environmental parameters, MEMS microphones, microvalves, micro pumps, etc. More specifically, the included topics cover: Materials used in micro- and nanosystem technology; High-temperature processes and methods for depositing thin films from the gas phase; Topological shaping and selective etching of materials; Technology for three-dimensional structures in micro- and nanosystems; Assembly processes for micro- and nanosystems; Technology of micro- and nanosystems responding to pressure, deformation, and vibrations; Pressure sensors; Microphones; Surface acoustic wave transducers; Technology for automotive micro- and nanosensors and systems; Technology for chemical sensors; Technology for micro- and nanoactuator elements. The book is intended for students specializing in

"Microtechnology and Nanoengineering" at the Faculty of Electronic Engineering and Technology (FEET) at the Technical University of Sofia, studying the subject "Technologies for Micro- and Nanosystems." However, it can also be used by students from other disciplines, as well as by PhD students, post-doctoral fellows and engineers working in the field of technology in electronic manufacturing.

Е.24.1. Мария Александрова, Красимир Денишев, „Ръководство за лабораторни упражнения по Технологии за микро- и наносистеми“ — Издателство на ТУ-София, 2019, ISBN: 978-619-167-393-3.

Настоящото ръководство за лабораторни упражнения по “Технологии за микро- и наносистеми” е предназначено за студентите ОКС „магистър“ I курс от специалност “Микротехнологии и наноинженеринг” на Факултет по електронна техника и технологии (ФЕТТ). Ръководството е съобразено с изискването в учебния план за проектно-ориентирана програма. В този смисъл, лабораторните упражнения и протоколите към тях са съобразени с технологичните възможности в катедра „Микроелектроника“, като студентите не просто извършват наблюдения и провеждат технологични процеси, а прилагат всеки от процесите с цел изработването на прост микроелектронен елемент. Дисциплината използва знания и умения, придобити от курсовете по физика, химия и материалознание. Към отделните упражнения са дадени типичните за съответната тема технически термини на английски език, с цел студентите да придобият умение самостоятелно да търсят информация по ключови думи. В края на практическото си обучение, студентите ще бъдат запознати с основните технологични процедури и процеси и ще могат творчески да решават проблеми, свързани с конструирането и изготвянето на съвременни микро- и наноелементи и системи.

This laboratory exercise guide on "Technologies for Micro- and Nanosystems" is intended for first-year master's degree students specializing in "Microtechnology and Nanoengineering" at the Faculty of Electronic Engineering and Technology (FEET). The guide is aligned with the requirements of the curriculum for a project-oriented program. In this sense, the laboratory exercises and the protocols associated with them are tailored to the technological capabilities of the Department of Microelectronics, wherein students do not merely perform observations and conduct technological processes, but apply each of the processes with the aim of creating a simple microelectronic element. The discipline utilizes knowledge and skills acquired from courses in physics, chemistry, and materials science. Each exercise includes typical technical terms relevant to the respective topic in English language, allowing students to develop the ability to independently search for information by keywords. By the end of their practical training, students will be familiar with the fundamental technological procedures and processes and will be able to creatively solve problems related to the design and fabrication of modern micro- and nanoelements and systems.

Група „3“

3.31.1. Pandiev, I., Tomchev, N., Kurtev, N., **Aleksandrova, M.**, Analysis of the Methods for Realization of Low-Power Piezoelectric Energy Harvesting Circuits for Wearable Battery-Free Power Supply Devices, *Applied Sciences (Switzerland)*, **2024**, 14(11), 4792, ISSN: 2076-3417 (**IF 2,5; Q2**)

This paper presents a comprehensive review of the design and implementation methods of low-power piezoelectric energy harvesting circuits, which in the last few years have gained an extremely large range of applications like the power sources of wearable electronic devices, such as biometrical sensors. Before examining the electronic circuitries of the self-supplied power devices, an overview of the structure, equivalent electrical circuits, and basic parameters of the piezoelectric generators and MEMSs as energy harvesting elements is presented. The structure of energy storage elements (parallel-plate capacitors and thin-film supercapacitors), suitable for this type of application, is also presented. The description of these components from an electrical point of view allows them to be easily workable when connected to the various power conversion electronic circuits. Based on an overview of the structure and the principles of operation, as well as some analytical expressions for energy efficiency evaluation, a comprehensive comparative analysis is presented. Depending on the advantages and disadvantages of the known circuit configurations, the basic electrical and design parameters are systematized in tabular form. Practical realizations of piezoelectric power conversion circuits are also presented in graphic form, ensuring the optimal value of energy efficiency and compactness in the construction of the devices.

Представен е изчерпателен преглед на методите за проектиране и реализиране на схеми за добив на енергия от маломощни пиезоелектрични източници, които през последните години са намерили изключително широко приложение като захранващи източници на носими електронни устройства, например биосензори. Преди изследването на електронните схеми на самозахранващите се устройствата, е представен преглед на структурата, еквивалентните електрически схеми и основните параметри на пиезоелектричните генератори и микроелектромеханичните системи (MEMS) като елементи за добив на енергия. Показана е също структурата на елементите за съхранение на енергия (кондензатори с паралелни плочи и тънкослойни суперкондензатори), подходящи за този тип приложения. Описанието на тези компоненти от електрическа гледна точка позволява лесно свързване с различните електронни схеми за преобразуване на мощност. Въз основа на обзор на структурата и принципите на работа, както и някои аналитични изрази за оценка на енергийната ефективност, е представен изчерпателен сравнителен анализ. В зависимост от предимствата и недостатъците на известните конфигурации на схемите, основните електрически и проектни параметри са систематизирани в табличен вид. Практическите реализации на схеми за преобразуване на пиезоелектрична енергия са представени и графично.

3.31.2. Shah, S., Bhorde, A., Hase, Y., R Aher, V Doiphode, A Waghmare, A Punde, P. Shinde, S. Rahane, B. R Bade, H. M Pathan, M. Prasad, **M. Aleksandrova**, S. P Patole, S. R Jadkar, Role of Solvents in the Preparation of Methylammonium Bismuth Iodide (MBI) Perovskite Films for Self-

Pb-free metal halide perovskites are excellent light-harvesting materials for photodetector applications because of their inherent remarkable optoelectronic properties with lower-temperature processability. However, to date, the realization of device-quality Pb-free metal halide films is still a great challenge. Here, using a single-step spin coating method, we have synthesized Pb-free methylammonium bismuth iodide $[(\text{CH}_3\text{NH}_3)_3\text{Bi}_2\text{I}_9]$ (MBI) perovskite films using different solvents, such as γ -butyrolactone (GBL), 2-methoxyethanol (2ME), dimethyl sulfoxide (DMSO), and N,N-dimethyl formamide (DMF). Furthermore, MBI perovskite films were subjected to various characterization techniques to investigate and analyze morphological, optical, and structural properties. The formation of MBI thin films in various solvents was confirmed by XRD analysis and Raman spectroscopy. As evident from the XRD pattern, MBI belonged to the P63/mmc space group and had a hexagonal crystal structure. SEM analysis showed that the MBI film synthesized using different solvents has randomly oriented hexagonal-shaped grains parallel or orthogonal to the surface of the substrate. The synthesized perovskite films strongly absorbed light in the visible region with a higher absorption coefficient ($\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$) and an optical band gap of ~ 1.85 to 2.0 eV , as evident from UV-vis and photoluminescence spectroscopy. TG analysis showed that MBI perovskites are thermally stable until $\sim 325 \text{ }^\circ\text{C}$. It was found that MBI perovskite films prepared using a 2ME solvent have excellent substrate coverage with the smallest grain size and excellent optical properties. Finally, a photodetector was fabricated using an MBI perovskite film, exhibiting the fast rise and decay times of 0.79 and 0.36 s, with a responsivity of $\sim 8.0 \times 10^{-2} \text{ mA/W}$ and a detectivity of $\sim 5.0 \times 10^8 \text{ Jones}$ at a 0 V bias. The present results open up a new avenue for Pb-free, highly stable MBI perovskites for future selfbiased photodetectors.

Безоловните метало-халогенидни перовскити са отлични материали за улавяне на светлина в приложения като фотодетектори, благодарение на техните забележителни оптоелектронни свойства и възможността за обработка при по-ниски температури. Въпреки това, до момента реализирането на слоеве от безоловни материали с качество, подходящо за реално устройство все още представлява голямо предизвикателство. В този контекст, използвайки метод на центрофузното нанасяне са синтезирани безоловни перовскитни слоеве от метиламониев бисмутен йодид $[(\text{CH}_3\text{NH}_3)_3\text{Bi}_2\text{I}_9]$ (MBI) с различни разтворители, като γ -бутиролактон (GBL), 2-метоксиетанол (2ME), диметилсулфоксид (DMSO) и N,N-диметилформамид (DMF). Освен това, MBI перовскитните покрития бяха подложени на различни техники за характеристики, за да се изследват и анализират морфологичните, оптичните и структурни свойства. Образуването на тънките MBI слоеве в различни разтворители е потвърдено чрез рентгенова дифракция (XRD) и Раманова спектроскопия. Както е видно от XRD спектъра, MBI принадлежи към пространствената група P63/mmc и има хексагонална кристална структура. Анализът с електронен микроскоп показва, че MBI слой, синтезиран с помощта на различни разтворители, има случайно ориентирани хексагонални зърна, паралелни едни на други и ортогонални на повърхността на подложката. Те силно абсорбират светлина във видимия спектър с по-висок коефициент на абсорбция (около 10^5 cm^{-1}) и оптична забранена зона от приблизително 1.85 до 2.0 eV, какъвто е резултатът от UV-VIS и фотолуминесцентната спектроскопия.

Термогравиметричният анализ показва, че МВІ перовскитите са термично стабилни до около 325 °С. Установено е, че МВІ перовскитни слоеве, изготвени с помощта на разтворител 2МЕ, имат отлична покривност на подложката с най-малки размери на зърната и отлични оптични свойства. Накрая, бе изработен фотодетектор, използващ МВІ перовските слоеве, който демонстрира бързи времена на нарастване и спадане на фронта на фотоиндуцирания ток – съответно 0,79 и 0,36 s, с чувствителност от около 8.0×10^{-2} mA/W и граница на детекция от около 5.0×10^8 Jones. Получените резултати отварят нови възможности за безоловни МВІ перовските за бъдещи самозахранващи се фотодетектори.

3.31.3. M. Baid, A. Hashmi, B. Jain, A. K. Singh, M. A. B. H. Susan, M. Aleksandrova, A comprehensive review on Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) thin film for solar cell: forecast issues and future anticipation, *Optical and Quantum Electronics*, **2021**, 53(11), 656, ISSN: 03068919 (IF 2,7; Q2)

Past few decades, light absorbing materials based on CuInGaSe₂ and CdTe have been used for fabrication of thin film solar cells. But main issues arising from these absorbers are the limited availability and toxicity of some of their constituents, viz. In, Cd, and Te. At present, light absorbing materials based on Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) is a best alternative to develop low cost and environmentally friendly component for next generation thin film solar cells. CZTS and their selenium alloy based devices showed the necessary potential for the development of thin film solar cells (TFSCs). There have been numerous attempts to synthesize TFSCs based on CZTS absorber. Various techniques available to deposit thin film absorber layer rely on vacuum and non-vacuum based methods. In this review, we focused on various deposition methods, their shortcomings and potential improvement for deposition of CZTS thin film. We have also addressed various parameters that affect CZTS thin film and its device performance including condition of annealing, variation of composition and doping of different elements. Finally, we have discussed the challenges and approaches for resolving the issue in the synthesis of CZTS based thin film solar cell.

През последните няколко десетилетия, влагоабсорбиращите материали на база CuInGaSe₂ и CdTe са били използвани за производството на тънкослойни слънчеви клетки. Основните проблеми, произтичащи от тези абсорбатори, са ограничената наличност и токсичността на някои от техните съставки, а именно In, Cd и Te. В момента, влагоабсорбиращите материали на база Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) представляват най-добрата алтернатива за разработване на екологично чист компонент на ниска цена за следващото поколение тънкослойни слънчеви клетки. Устройствата на база CZTS и тяхната селенова сплав показват необходимия потенциал за развитието на тънкослойни слънчеви клетки (TFSCs). Бяха направени многобройни опити за синтез на TFSCs, основаващи се на абсорбер CZTS. Различните техники за нанасяне на тънкослойния абсорбер разчитат на вакуумни и не-вакуумни методи. В този обзор, фокусът е върху различните методи на нанасяне, техните недостатъци и потенциални подобрения за нанасяне на тънки слоеве от CZTS. Обсъждаме също различни параметри, които влияят на тънкия слой CZTS и неговата производителност, включително условията на отгряване, изменения в състава и легирането с различни елементи. Накрая, разглеждаме предизвикателствата и подходите за разрешаване на проблема при синтеза на тънкослойни слънчеви клетки на база CZTS.

3.31.4. I Pandiev, H Antchev, N Kurtev, N Tomchev, **M Aleksandrova**, Analysis and Design of Low-Power Piezoelectric Energy Harvesting Circuit for Wearable Battery-Free Power Supply Devices, *Electronics* 14 (1), 46, **2025**, ISSN: 2079-9292 (**IF 2,6; Q2**)

Improving microelectronic technologies has created various micro-power electronic devices with different practical applications, including wearable electronic modules and systems. Furthermore, the power sources for wearable electronic devices most often work with electrical energy obtained from the environment without using standard batteries. This paper presents the structure and electrical parameters of a circuit configuration realized as a prototype of a low-power AC-DC conversion circuit intended for use as a power supply device for signal processing systems that test various biomedical parameters of the human body. The proposed prototype has to work as a wearable self-powered system that transfers electrical energy obtained through mechanical vibrations in the piezoelectric generator. The obtained electrical energy is used to charge a single low-voltage supercapacitor, which is used as an energy storage element. The proposed circuit configuration is realized with discrete components consisting of a low-voltage bridge rectifier, a low-pass filter, a DC-DC step-down (buck) synchronous converter, a power-controlling system with an error amplifier, and a window detector that produces a “power-good” signal. The power-controlling system allows tuning the output voltage level to around 1.8 V, and the power dissipation for it is less than 0.03 mW. The coefficient of energy efficiency achieved up to 78% for output power levels up to 3.6 mW. Experimental testing was conducted to verify the proposed AC-DC conversion circuit’s effectiveness, as the results confirmed the preliminary theoretical analyses and the derived analytical expressions for the primary electrical parameters.

Подобряването на микроелектронните технологии е довело до създаването на различни микромошни електронни устройства с различни практически приложения, включително носими електронни модули и системи. В допълнение, източниците на захранване за носими електронни устройства най-често работят с електрическа енергия, получена от околната среда, без да използват стандартни батерии. В настоящата статия е представена структурата и електрическите параметри на конфигурация на схема, реализирана като прототип на маломощна схема за преобразуване от променлив ток в постоянен, предназначена за използване като захранващо устройство за системи за обработка на сигнали, които измерват различни биомедицински параметри на човешкото тяло. Предложеният прототип трябва да функционира като носима самозахранваща се система, която прехвърля електрическа енергия, получена чрез механични вибрации в пиезоелектричния генератор. Получената електрическа енергия се използва за зареждане на един нисковолтов суперкондензатор, който служи като елемент за съхранение на енергия. Предложената конфигурация на схемата е реализирана с дискретни компоненти, състоящи се от нисковолтов мостов изправител, нискочестотен филтър, синхронен DC-DC понижаващ преобразувател, система за контрол на мощността с усилвател на грешка и детектор за стабилизация на изходните сигнали. Системата за контрол на мощността позволява настройване на нивото на изходното напрежение до около 1,8 V, а разсейването на мощността е по-малко от 0,03 mW. Коефициентът на енергийна ефективност достига до 78% при изходни мощностни нива до 3,6 mW. Проведени са експериментални тестове за проверка на ефективността на

предложената схема, като резултатите потвърдиха предварителните теоретични анализи и изведените аналитични изрази за основните електрически параметри.

3.31.5. Shahi, K., Singh, R.S., Singh, J., Aleksandrova, M., Singh, A.K., Synthesis of Ag Nanoparticle-Decorated ZnO Nanorods Adopting the Low-Temperature Hydrothermal Method, *Journal of Electronic Materials*, **2020**, 49(1), pp. 637–642, ISSN: 0361-5235 (**IF 1,9; Q2**)

Vertically aligned and highly dense Zinc oxide (ZnO) nanorods (NRs) have been successfully synthesized by a two-step hydrothermal method and decorated by silver (Ag) nanoparticles (NPs) via a dip coating technique. Absorption spectra indicate the presence of metal Ag NPs. The photoluminescence (PL) spectrum of as-grown ZnO nanorods shows ultra violet (UV) emission centered around 390 nm and a sharp defect-related emission peak around 580 nm. The presence of Ag NPs on the ZnO NRs shows a significant red shift in PL peak position in the visible region and a complete quenching of UV emission. The changes in UV–Vis and PL spectra of ZnO NRs decorated with Ag metal NPs are studied and discussed.

Вертикално подредени и с висока плътност наножицкии (NRs) от цинков оксид (ZnO) са успешно синтезирани чрез двустадийен хидротермален метод и декорирани със сребърни (Ag) наночастици (NPs) с помощта на химичен процес. Спектрите на абсорбция показват присъствието на метални Ag NPs. Спектърът на фотолуминесценция (PL) на израсналите ZnO наножицкии показва ултравиолетово (UV) излъчване, центрирано около 390 nm, и остър пик на дефектно-свързано излъчване около 580 nm. Присъствието на Ag NPs върху ZnO NRs показва значително изместване на позицията на PL пика в видимия спектър в посока към дълговълновия обхват и пълно потискане на UV излъчването. Изследвани и обсъдени са причините за промените в UV-видимите и PL спектри на ZnO NRs, декорирани със сребърни NPs.

3.31.6. BS Blagoev, M Aleksandrova, P Terziyska, P Tzvetkov, D Kovacheva, G Kolev, V Mehandzhiev, K Denishev, D Dimitrov, Investigation of the structural, optical and piezoelectric properties of ALD ZnO films on PEN substrates, *Journal of Physics: Conference Series*, **2018**, 992(1), 012027, ISSN: 1742-6588 (**SJR 0,22**)

We present the results of studies on the structural, optical and piezoelectric properties of ZnO thin films deposited by ALD on flexible polyethylene naphthalate (PEN) substrates. Changes were observed in the optical transmission and crystal structures as the deposition temperature was varied. The electromechanical behavior, dielectric losses and voltage generated from ZnO flexible devices were investigated and discussed, in order to estimate their suitability for potential application as microgenerators activated by human motion.

Представени са резултатите от изследванията на структурните, оптичните и пиезоелектричните свойства на тънки слоеве от ZnO, нанесени чрез атомно послойно отлагане на гъвкави подложки от полиетилен нафталат (PEN). Наблюдаваха се промени в оптичното пропускане и кристалната структура при промяна на температурата на нанасяне. Изследвани и обсъдени са електромеханичното поведение, диелектричните загуби и

напрежението, генерирано от гъвкавите устройства от ZnO, с цел да се оцени тяхната пригодност за потенциално приложение като микрогенератори, активирани от човешко движение.

3.31.7. Kotsilkova, R.; Georgiev, V.; **Aleksandrova, M.**; Batakliiev, T.; Ivanov, E.; Spinelli, G.; Tomov, R.; Tsanev, T. Improving Resistive Heating, Electrical and Thermal Properties of Graphene-Based Poly(Vinylidene Fluoride) Nanocomposites by Controlled 3D Printing, *Nanomaterials*, **2024**, 14, 1840, ISSN: 2079-4991 (IF 4.3, Q1).

This study developed a novel 3D-printable poly(vinylidene fluoride) (PVDF)-based nanocomposite incorporating 6 wt% graphene nanoplatelets (GNPs) with programmable characteristics for resistive heating applications. The results highlighted the significant effect of a controlled printing direction (longitudinal, diagonal, and transverse) on the electrical, thermal, Joule heating, and thermo-resistive properties of the printed structures. The 6 wt% GNP/PVDF nanocomposite exhibited a high electrical conductivity of $112 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ when printed in a longitudinal direction, which decreased significantly in other directions. The Joule heating tests confirmed the material's efficiency in resistive heating, with the maximum temperature reaching up to $65 \text{ }^\circ\text{C}$ under an applied low voltage of 2 V at a raster angle of printing of 0° , while the heating T_{max} decreased stepwise with $10 \text{ }^\circ\text{C}$ at the 45° and the 90° printing directions. The repeatability of the Joule heating performance was verified through multiple heating and cooling cycles, demonstrating consistent maximum temperatures across several tests. The effect of sample thickness, controlled by the number of printed layers, was investigated, and the results underscore the advantages of programmable 3D printing orientation in thin layers for enhanced thermal stability, tailored electrical conductivity, and efficient Joule heating capabilities of 6 wt% GNP/PVDF composites, positioning them as promising candidates for next-generation 3D-printed electronic devices and self-heating applications.

В това изследване е разработен нов нанокомполит на база поли(винилиден флуорид) (PVDF), който включва 6 wt% графенови нанопластинки (GNPs) с програмируеми характеристики за 3D-печат и приложения в резистивно нагряване. Резултатите подчертават значителния ефект на контролираното направление на печат (надлъжно, диагонално и напречно) върху електрическите, термичните, Джауловите нагревателни и терморезистивни свойства на отпечатаните структури. Нанокомполитът 6 wt% GNP/PVDF показва висока електрическа проводимост от $112 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ при печат в напречно направление, която значително намалява в другите направления. Тестовите за Джаулово нагряване потвърдиха ефективността на материала в резистивното нагряване, като максималната температура достига до $65 \text{ }^\circ\text{C}$ при приложено ниско напрежение от 2 V при ъгъл на печат 0° , докато нагряването T_{max} намалява стъпаловидно с $10 \text{ }^\circ\text{C}$ при печатни направления от 45° и 90° . Повторяемостта на Джауловото нагряване беше потвърдена чрез множество цикли на нагряване и охлаждане, демонстрирайки консистентни максимални температури при различни тестове. Изследван е ефектът от дебелината на пробата, контролирана от броя на отпечатаните слоеве, а резултатите подчертават предимствата на програмируемата 3D печатна ориентация в тънките слоеве за подобрена термична стабилност, адаптирана електрическа проводимост и ефективни способности за Джаулово нагряване на 6 wt%

GNP/PVDF композити, позиционирайки ги като обещаващи кандидати за следващото поколение 3D-печатни електронни устройства и приложения за самонагриване.

3.31.8. Tsounidi, D.; Petrou, P.; Aleksandrova, M.; Tsanev, T.; Tserepi, A.; Gogolides, E.; Bernasik, A.; Awsuik, K.; Janiszewska, N.; Budkowski, A.; Raptis, I., Carbyne-Enriched Carbon Coatings on Silicon Chips as Biosensing Surfaces with Stable-over-Time Biomolecule Binding Capacity. *Nanomaterials* **2025**, 15, 1384, ISSN: 2079-4991 (IF 4.3, Q1).

Carbyne-containing materials offer significant potential for biosensor applications due to their unique chemical and mechanical properties. In this study, carbyne-enriched carbon coatings deposited on SiO₂/Si chips using ion-assisted pulse-plasma deposition were evaluated for the first time as substrates for optical biosensing. At first, the carbyne-enriched coatings were characterized by X-ray photoelectron spectroscopy, Raman spectroscopy, Atomic Force Microscopy, and the sessile drop method to assess their composition, structure, and wettability. After that, chips with carbyne-enriched coatings were modified with biomolecules through physical adsorption or covalent bonding, and the respective biomolecular interactions were monitored in real-time by White Light Reflectance Spectroscopy (WLRs). In both cases, SiO₂/Si chips modified with an aminosilane were used as reference substrates. Physical adsorption was tested through immobilization of an antibody against C-reactive protein (CRP) to enable its immunochemical detection, whereas covalent bonding was tested through coupling of biotin and monitoring its reaction with streptavidin. It was found that the carbyne-enriched carbon-coated chips retained both their antibody adsorption capability and their covalent bonding ability for over 18 months, while the modified with aminosilane SiO₂/Si chips lost 90% of their antibody adsorption capacity and covalent bonding ability after two months of storage. These findings highlight the strong potential of carbyne-enriched carbon-coated chips as robust biosensing substrates, with applications extending beyond WLRs.

Материалите, съдържащи карбин, предлагат значителен потенциал за приложения в биосензори поради уникалните си химически и механични свойства. В настоящото изследване карбиново обогатени въглеродни покрития, нанесени върху SiO₂/Si чипове чрез йонно подпомагано импулсно плазмено нанасяне, бяха оценени за първи път като подложки за оптични биосензори. Първоначално, карбиново обогатените покрития бяха характеризирани чрез рентгенова фотоелектронна спектроскопия, Раманова спектроскопия, атомно силова микроскопия и метода „лежащата капка“, за да се оценят техните състав, структура и омокряема способност. След това, чиповете с карбиново обогатени покрития бяха модифицирани с биомолекули чрез физическа адсорбция или ковалентно свързване, а съответните биомолекулярни взаимодействия бяха наблюдавани в реално време с помощта на спектроскопия на отражение на бяла светлина (WLRs). В двата случая чипове SiO₂/Si, модифицирани с аминсилан, бяха използвани като референтни подложки. Физическата адсорбция беше тествана чрез имобилизация на антитела срещу С-реактивен протеин (CRP), за да се позволи неговото имунно химично откритие, докато ковалентното свързване беше тествано чрез свързване на биотин и наблюдаване на реакцията му със стриптавидин. Установено е, че чиповете с карбиново обогатено въглеродно покритие запазват както способността си за адсорбция на антитела, така и способността си за ковалентно свързване в продължение на над 18 месеца, докато модифицираните с аминсилан SiO₂/Si чипове

загубиха 90% от капацитета си за адсорбция на антитела и способността си за ковалентно свързване след два месеца съхранение. Тези находки подчертават силния потенциал на чиповете с карбиново обогатено въглеродно покритие като надеждни подложки за биосензори.

3.31.9. M. Aleksandrova, S. Andreev, Design Methodology and Technological Flow of Screen-Printed Thick-Film Sensors, *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 11, pp. 10126-10136, 2022, ISSN: 1530-437X (IF 3.7, Q1).

In this paper, the design considerations and basic equations related to thick-film screen-printed sensing devices are included. The geometry of the device and the patterns of the functional sensing film, or of the electrodes are taken into account for the determination of the operational frequency, noise voltage, quality factor and other key parameters, related to the proper work of the resistive, capacitive and surface acoustic wave based sensors. The determination of some parasitic components and possible errors is also provided. The focus is put on the most widely spread coating patterns related to this technology - meander and comb-shaped. The technology flow chart of the screen-printing technology is given and the approaches for fine-tuning the resistance at the thick-film resistive sensors are discussed. Comparison of the typically used materials for substrates, resistive, conductive, and dielectric coatings is made. Criteria for the selection of the different pastes or inks for specific applications are mentioned.

В тази статия са включени проектни съображения и основни уравнения, свързани със сензорни устройства с дебели слоеве, принтирани чрез ситопечат. Геометрията на функционалния сензорен слой и на електродите се вземат предвид при определянето на работната честота, шумоустойчивостта, качествения фактор и други ключови параметри, свързани с правилната работа на резистивни, капацитивни и базирани на повърхностни акустични вълни сензори. Представени са методите за определянето на някои паразитни компоненти и възможни грешки. Акцентът е поставен върху най-разпространените геометрии на покрития, свързани с тази технология – меандрови и гребенчати форми. Дадена е технологичната схема на процеса на ситопечат и са обсъдени подходите за прецизно регулиране на съпротивлението при резистивни сензори с дебел слой. Направено е сравнение на типично използваните материали за подложки, резистивни, проводими и диелектрични покрития във вид на паста. Изтъкнати са критерии за избор на различни паста или мастила за конкретни приложения.

Кандидат:

/доц. д-р Мария Александрова-Пандиева/