

СТАНОВИЩЕ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“ в област на висше образование „Технически науки“, професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, научна специалност “Технология на електронното производство”

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Цветозар Дамянов Цанев, катедра „Микроелектроника“, ФЕТТ, Технически университет – София

Тема на дисертационния труд: „Изследване на оксидни и хибридни оксид-полимерни пиезоелектрични елементи с приложение в нано- електромеханични системи (НЕМС)“

Член на научното жури: проф. д-р инж. Дилиана Николаева Господинова, Технически университет – София

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията

Изследванията в дисертационния труд са насочени към разработване и изследване на нови материали и наноструктури от пиезоелектричен тип, с приложения за преобразуване на механични усилия в електрически сигнал, подходящи за захранване на маломощни консуматори.

Бързо навлизащите микроелектромеханични и наноелектромеханични системи и реализираните на тяхна база устройства, следват трайната тенденция към миниатюризация и към понижаване на консумирана от тях електрическа мощност. Едни от най-разпространените сензори за вграждане в съвременните микроелектронни устройства с широко приложение и мултифункционалност са базирани на пиезоелектричния ефект. Новите предизвикателства при създаване на нов тип пиезоелектрични сензори при съчетаването на класическата теория на пиезосензорите с нови наноматериали прави темата особено актуална и значима в научно-приложен аспект.

Целта на дисертационния труд е повишаване на електрическата мощност в неизследвани до момента безоловни тънкослойни материали предназначени за тънкослойни пиезоелектрични енергийни преобразуватели, като за изпълнението на тази цел са формулирани четири задачи.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

Представеният дисертационен труд е изложен на 163 страници, като включва увод, четири глави, заключение, основни приноси, списък на публикациите и забелязаните към момента цитирания, както и използвана литература. Дисертантът е използвал систематично литературно проучване в специализирани литературни бази с данни. Представената библиографска справка включва 187 литературни източника, от които малко над 80% са публикувани през последните 10 години.

На базата на направения литературен обзор са дефинирани нерешени проблеми и необходимостта от тяхното решаване. Дисертантът се е запознал със състоянието на проблема и на основата на направения анализ на известната литература са формулирани целта и задачите стоящи за решаване при дисертационния труд.



3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси.

Формулираната цел и задачи са пряко свързани с изводите от направения литературен обзор. За изпълнение на поставените задачи дисертанта е избрал технологичен подход и изследователска методология базирана на експеримента, математическото и симулационно моделиране (*COMSOL Multiphysics* и *омрежване по метода на крайните елементи*). Направените изследвания се позовават на данни от литературни източници, научни и научно-приложни разработки. Постигнатите резултати потвърждават адекватността на използваната методика за изследване.

4. Научни и/или научноприложни и приложни приноси на дисертационния труд

Авторът е обобщил получените резултати в дисертационния труд и ги е изложил като научно-приложни и приложни приноси на дисертацията.

Научно-приложни приноси

1. За първи път е изследвано поведението на тънкослойни преобразуватели, получени чрез разработена технология за получаване на новосинтезиран пиезоелектричен материал калиев ниобат (KNbO_3) чрез вакуумно разпръскване.

2. Разработена е нова методика за тестване на пиезоелектричната реакция на тънкослойни пиезоелектрични генератори от KNbO_3 и е направен теоретичен анализ на поведението им, като се изведени фундаментални зависимости.

3. Разработена е нова технология за контролируемо получаване на нанопокрития от цинково-галиев оксид (GZO). Получени са нови взаимовръзки между пиезоелектричните коефициенти, морфологията на слоевете и технологичните условия на получаване на слоевете, които са използвани при изграждането на сензорна структура от мембранен тип с подобрена чувствителност от $5 \text{ mV/g} \cdot \text{mm}^2$.

4. За първи път е изследван тънкослоен пиезоелектричен генератор повишен добив на електрическа енергия при резонансна честота в нискочестотния диапазон, съдържащ кръгови концентратори на механично напрежение с подходяща топология за структуриране на наноразмерни слоеве.

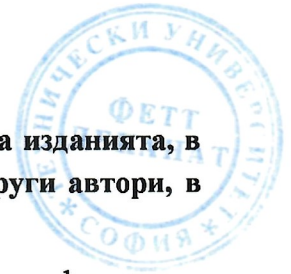
5. Разработена е нова технология за производство на тънкослойни пиезоелектрични генератори с подобрена ефективност на преобразуване.

6. Създадена е нова технология за наноструктуриране на пиезоелектрични оксиди и полимери под формата на нановлакна чрез матрично-асистирано израстване в нанопорест аноден алуминиев оксид.

Приложни приноси

1. Създадена е лабораторна база за анодиране на алуминий при повишено напрежение за разширяване на диаметъра на нанопорите с поддържане на ниска постоянна температура.

Приемам формулираните научно-приложните и приложни приноси от докторанта. Считам, че получените резултати са оригинални и напълно съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“. Научно-приложните и приложни приноси на дисертационния труд на маг. инж. Цветозар Цанев са актуални и значими за науката.



5. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани. Отражение в науката – използване и цитиране от други автори, в други лаборатории, страни и пр.

Резултатите от изпълнението на задачите, поставени в дисертационния труд са оформени и публикувани в 7 (седем) публикации. Пет от публикациите са в списания, индексирани в *Scopus* и *Web of Science*. Две публикации са в сборник с доклади от научни форуми (MIEL 2019 и ELECTRONICA 2019), които сборници също са индексирани в *Scopus*. Една от представените публикации е самостоятелна. Впечатление прави факта, че две от публикациите са в списания с висок импакт фактор (IF) - съответно 7.147 и 3.623, а една в списание с импакт ранг.

Публикациите по дисертационния труд в количествено и качествено отношение отговарят на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени на ТУ-София. Представени са данни за 12 (дванадесет) цитирания на публикации в базата данни *Scopus* и участие в 3 (три) научно-изследователски проекта – 2 (два) от които са национални към Фонд „Научни изследвания“ на МОН. Последните данни сами по себе си са показател за високо качество на направените публикации.

6. Мнения, препоръки и бележки

Дисертационният труд е в област, която е актуална и нелека за работа. Изследванията са направени качествено и представената дисертация има научно-приложни и приложни приноси. Нямам сериозни критични бележки. Препоръката ми е дисертантът да продължи да работи в тази област за постигане на следващи значими резултати.

7. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд

Въз основа на представения дисертационен труд, значимостта на постигнатите резултати, съдържащите се в тях научно-приложни и приложни приноси, считам, че дисертационния труд отговаря на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България и Правилника за научни степени на ТУ-София и намирам за основателно да предложа на научното жури да присъди на

маг. инж. Цветозар Дамянов Цанев

образователната и научна степен „Доктор“ в областта на висше образование „Технически науки“, професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, научна специалност „Технология на електронното производство“.

Дата: 15.12.2023 г.
гр. София

ЧЛЕН НА ЖУРИТО: (н)
(проф. д-р Диляна Н. Господинова)





POSITION

on a dissertation to acquire the educational and scientific degree "doctor"

Author of the dissertation: Tsvetozar Tsanev

Title of dissertation: Investigation of oxide and hybrid oxide-polymer piezoelectric elements with application in nanoelectromechanical systems (NEMS)

Professional direction: 5.2. Electrical engineering, electronics and automation

Scientific specialty: " Technology of electronic production"

Member of the scientific jury: Prof. eng. D. Gospodinova, PhD, Technical university of Sofia

1. Relevance of the problem developed in the dissertation work in scientific and applied scientific terms.

The research in the dissertation work is aimed at the development and research of new materials and nanostructures of the piezoelectric type, with applications for the conversion of mechanical efforts into an electrical signal, suitable for powering low-power appliances.

The rapidly entering microelectromechanical and nanoelectromechanical systems and the devices realized on their basis follow the permanent trend towards miniaturization and towards lowering the electrical power consumed by them. One of the most common sensors for embedding in modern microelectronic devices with wide application and multifunctionality is based on the piezoelectric effect. The new challenges in creating a new type of piezoelectric sensors in combining the classical theory of piezosensors with new nanomaterials makes the topic particularly relevant and significant in a scientific-applied aspect.

The aim of the dissertation is to increase the electrical power in previously unexplored lead-free thin-film materials intended for thin-film piezoelectric energy converters, and for the fulfillment of this goal, four tasks are formulated.

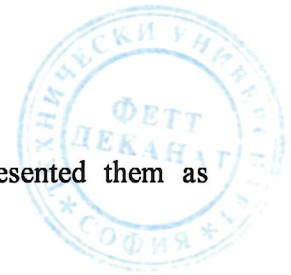
2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material

The presented dissertation is laid out in 163 pages, including an introduction, four chapters, a conclusion, main contributions, a list of publications and citations noticed so far, as well as references. The PhD student used systematic literature research in specialized literature databases. The presented bibliographic reference includes 187 literary sources, of which slightly more than 80% were published in the last 10 years.

On the basis of the literature review, unsolved problems and the need to solve them are defined. The PhD student has familiarized himself with the state of the problem and based on the analysis of the known literature, the goal and tasks to be solved in the dissertation work have been formulated.

3. Correspondence of the chosen research methodology and the set goal and tasks of the dissertation with the contributions achieved.

The formulated goal and tasks are directly related to the conclusions of the literature review. To fulfill the set tasks, the dissertation has chosen a technological approach and a research methodology based on the experiment, mathematical and simulation modeling (COMSOL Multiphysics and meshing according to the finite element method). The conducted studies refer to data from literary sources, scientific and scientific-applied developments. The achieved results confirm the adequacy of the research methodology used.



4. Scientific and/or applied scientific contributions of the dissertation work.

The author summarized the obtained results in the dissertation work and presented them as scientific-applied and applied contributions of the dissertation.

Scientific and applied contributions are

1. For the first time, the behavior of thin-film transducers obtained by a developed technology for obtaining newly synthesized piezoelectric material potassium niobate (KNbO_3) by vacuum sputtering was investigated.

2. A new methodology for testing the piezoelectric response of thin-film piezoelectric generators made of KNbO_3 was developed and a theoretical analysis of their behavior was made, inferring fundamental dependencies.

3. A new technology has been developed for controllable production of zinc gallium oxide (GZO) nanocoatings. New interrelationships between piezoelectric coefficients, layer morphology and technological conditions of layer preparation were obtained, which were used in the construction of a membrane-type sensor structure with an improved sensitivity of $5 \text{ mV/g}\cdot\text{mm}^2$.

4. For the first time, a thin-film piezoelectric generator with increased electrical energy yield at resonant frequency in the low-frequency range, containing circular mechanical stress concentrators with a suitable topology for structuring nanoscale layers, was investigated.

5. A new technology has been developed for the production of thin-film piezoelectric generators with improved conversion efficiency.

6. A new technology was created for nanostructuring of piezoelectric oxides and polymers in the form of nanofibers by matrix-assisted growth in nanoporous anodic aluminum oxide.

Applied Contributions

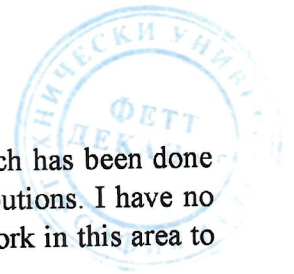
1. A laboratory facility has been established for anodizing aluminum under elevated voltage to expand the diameter of nanopores while maintaining a low constant temperature.

I accept the formulated scientific-applied and applied contributions from the doctoral student. I believe that the obtained results are original and fully correspond to the requirements for a dissertation work for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor". The scientific and applied contributions of the dissertation work of M.Sc. Eng. Tsvetozar Tsanev are current and significant for science.

5. Assessment of dissertation publications

The results of the implementation of the tasks set in the dissertation work were formed and published in 7 (seven) publications. Five of the publications are in journals indexed in *Scopus* and *Web of Science*. Two publications are in proceedings of scientific forums (MIEL 2019 and ELECTRONICA 2019), which proceedings are also indexed in *Scopus*. One of the featured posts is standalone. It is impressive that two of the publications are in journals with a high impact factor (IF) - 7.147 and 3.623 respectively, and one in a journal with an impact rank.

The publications on the dissertation in quantitative and qualitative terms meet the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Regulations on the Terms and Procedures for Acquiring Scientific Degrees of TU-Sofia. Also presented are data on 12 (twelve) citations of publications in the *Scopus* database and participation in 3 (three) research projects - 2 (two) of which are national under the Bulgarian Scientific Research Fund of the Ministry of Education and Science (MES). The latest data in itself is an indicator of the high quality of the publications made.



6. Opinions, recommendations and notes

The dissertation is in an area that is current and not easy to work on. The research has been done qualitatively and the presented dissertation has scientific-applied and applied contributions. I have no serious criticisms. My recommendation is that the PhD student should continue to work in this area to achieve further significant results.

7. Conclusion

Based on the presented dissertation work, the significance of the achieved results, the scientific and applied contributions contained in them, I consider that the dissertation work meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Regulations for Scientific Degrees of TU-Sofia and I find it reasonable to propose to the Scientific Jury to award to

mag. Engineer Tsvetozar Damyanov Tsanev

the educational and scientific degree "Doctor" in the field of higher education "Technical Sciences", professional direction 5.2 "Electrical engineering, electronics and automation", scientific specialty "Technology of electronic production".

Date: 15.12.2023

MEMBER OF THE JURY: (н)
(Prof. eng. D. Gospodinova, PhD)

