



## 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“, Факултет по електронна техника и технологии (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.фн Катя Желева Вутова, Институт по електроника, Българска академия на науките, София

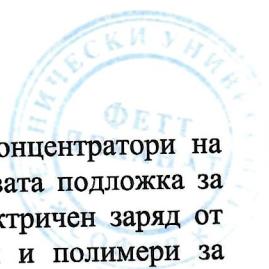
Маг. инж. Цветозар Дамянов Цанев е редовен докторант към катедра „Микроелектроника“, Факултет по електронна техника и технологии (ФЕТТ) при Технически Университет – София (ТУ-София). За процедурата по защита на дисертацията са представени всички необходими документи.

Кандидатът е представил дисертация на 163 страници, съдържаща увод, 4 глави, списък на публикациите на автора по дисертационния труд, библиография, списък на забелязаните цитирания и списък на основните приноси на дисертанта.

### 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.

Дисертационният труд представя научните изследвания и получените резултати на автора за оксидни и хибридни оксид-полимерни пиезоелектрични елементи с приложение в нано-електромеханични системи с цел повишаване на добива на пиезоелектрично напрежение, а по този начин и на електрическа мощност. Едни от най-популярните енергийни преобразуватели, вграждани в микро-електромеханични и нано-електромеханични системи (МЕМС и НЕМС), са тези, преобразуващи механичните деформации и вибрации в електрически заряд и обратното чрез пиезоелектричния ефект. Пиезоелектричеството и пиезоелектричният ефект са широко изпълзвани в различни технологични области. С миниатюризацията на елементите намаляват и ресурсите за тяхното производство, в резултат на което се пести енергия и се намалява цената, като се изискват решения на нови технологични проблеми за успешната им реализация и внедряване. Перспективите пред пиеzonаногенераторите са да продължат да се развиват и внедряват в специфични микро- и нано-електронни изделия – устройства в дома и офиса, сензорни мрежи от интернет на нещата (IoT), медицина, транспорт и др. Нерешените проблеми са свързани с постигане на висока ефективност на преобразуване на енергията и висока механична устойчивост при нарастваща миниатюризация и съчетаване с конвенционалните технологии за микроелектронно производство. В представения дисертационен труд се изследват нови материали и наноструктури от пиезоелектричен тип за преобразуване на механично натоварване в електрически сигнал, подходящ за захранване на маломощни консуматори.

Основната цел на настоящия дисертационен труд е повишаване на добива на пиезоелектрично напрежение, а в резултат на това и на електрическа мощност, в неизследвани до този момент безоловни тънкослойни материали, получени по технология, съвместима с технологията на производство на интегралните схеми. За постигане на поставената цел авторът е формулирал четири основни задачи, свързани с разработване на технология за получаване на нанопокрития от нови безоловни материали с контролируеми и възпроизвеждани параметри върху различни подложки (силициеви и полимерни гъвкави); получаване на пиезоелектрични оксиди с вградени атоми в кристалната решетка с различно предназначение – за засилване на асиметрията на решетката и усилване на диполния момент и за увеличаване на електрическата



проводимост на слоя и усилване на тока в пиеzoелектрика; създаване на концентратори на механично напрежение с подходяща геометрия и разпределение върху гъвкавата подложка за усилване на механичното натоварване и увеличаване на добива на пиеzoелектричен заряд от единица площ;nanoструктуриране на безоловните пиеzoелектрични оксиди и полимери за създаване на множество матрично организирани нанонишкови структури, чието пиеzoелектрично напрежение се сумира. Това определя актуалността на изследвания проблем както от научна, така и от научно-приложна гледна точка.

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

Решаването на задачите в дисертационния труд изискват от автора задълбочени познания в областта на тънкослойни пиеzoелектрични елементи от безоловни материали и технологични методи за тяхното получаване. Базирайки се на изложеното в дисертацията, считам че авторът познава много добре тази материя и е успял творчески да интерпретира и приложи литературния материал. На тази основа са формулирани целта и задачите за решаване, които адекватно отчитат спецификата и проблемите по темата.

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

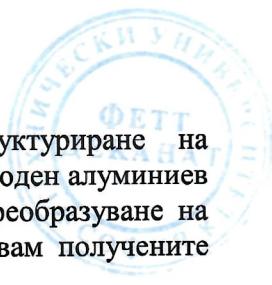
Съдържанието на дисертационния труд отговаря на поставената цел и задачи и избраната методика предполага качествено постигане на целта и успешно решаване на поставените задачи. Проведено е симулационно и експериментално изследване на влиянието на размера и разпределението на кръгови концентратори на механично напрежение в микромащаб върху поведението на тънкослойни гъвкави пиеzoелектрични генератори на базата на  $\text{KNbO}_3$  и е оптимизирана топологията на концентраторите за постигане на максимален пиеzoелектричен добив в зададен честотен диапазон. Разработена е технология за производство на тънкослойни пиеzoелектрични генератори с подобрена ефективност на преобразуване в следствие на структурираните с концентратори слоеве. Реализирано е запълване на nanoструктуриран аноден алуминиев оксид с пиеzoелектричен оксид и с пиеzoелектричен полимер и е доказано, че така nanoструктурираните пиеzoелектрични материали генерират по-високо напрежение в сравнение с неструктурнираните. Избраната методика за изследване и получените резултати от изследванията показват пълно съответствие между поставените цел и задачи на изследването и получените приноси.

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

Представеният в дисертационния труд материал, върху който се градят приностите, има научно-приложен характер. Резултатите са анализирани и публикувани в авторитетни научни издания, а също и представени на специализирани научни форуми, което е също доказателство за тяхната достоверност.

Приносите са от научно-приложно естество и могат да се отнесат към формиране на пиеzoелектрични структури от недостатъчно изследвани безоловни оксиди, върху гъвкави подложки за приложение в наноелектромеханични системи и съответстват изцяло на съдържанието на работата.

Характерът на приносите оценявам като разработване на технология за контролирамо получаване на нанопокрития от новосинтезиран пиеzoелектричен материал калиев ниобат ( $\text{KNbO}_3$ ) като доствената енергия от тънкослойни преобразуватели от него е  $\sim 7.8 \text{ mW/N}$ ; разработена е технология за контролирамо получаване на нанопокрития от новосинтезиран пиеzoелектричен материал цинково-галиев оксид (GZO) и е изградена сензорна структура от мембрлен тип с подобрена чувствителност ( $5 \text{ mV/g.mm}^2$ ); предложена е топология за структуриране на наноразмерни слоеве в генераторната структура за повишен добив на електрическа енергия при резонансна честота в нискочестотния диапазон и е разработена технология за производство на тънкослойни пиеzoелектрични генератори с подобрена



ефективност на преобразуване; разработена е технология за наноструктуриране на пиезоелектрични оксиди и полимери под формата на нановлакна в нанопорест аноден алуминиев оксид и са реализирани генераторни елементи с повишена ефективност на преобразуване на механични въздействия в електрическа енергия. В посочения контекст оценявам получените приноси като безспорно полезни и значими.

#### **5. Прещенка 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.**

Представените 7 публикации обхващат основните елементи от дисертационния труд и са както следва: 2 от тях са в специализирани научни списания с импакт фактор в Q1 и Q2 и са индексирани в Web of Science и Scopus; 2 са в издания с импакт ранг (SJR), като едната от тях е в Q3; 2 са в сборници на IEEE конференции, реферираны в Scopus и 1 публикация в международно списание. Една от статиите е самостоятелна, в 3 публикации докторантът е първи съавтор и в 3 работи е втори съавтор. Всички публикации са на английски език. Отбелязани са 13 независими цитата на четири от представените публикации. Резултатите са докладвани и на 5 международни научни конференции у нас и в чужбина и са свързани с изпълнение на три научно-изследователски проекти, вкл. и финансираны от Фонд „Научни изследвания“. Разработени са лабораторни упражнения по дисциплините „Микроелектронни технологии за алтернативни източници на енергия“ и „Наноматериали“ от магистърски програми във ФЕТТ на ТУ-София.

Предвид тези факти, смяtam че основните резултати на дисертационния труд са станали достояние на международната и българската научна общност.

#### **6. Мнения, препоръки и бележки.**

Дисертационният труд представлява една завършена изследователска работа с правилния избор на решения и средства за постигане на целта, с обема на извършената работа и постигнатите резултати.

Имам следните забележки: в автореферата, работите на автора от списъка на публикациите по дисертацията не са цитирани в текста; отбелязани са 13 независими цитирания от чужди автори, а е представен списък с 12 цитата; има някои граматически грешки в текста на дисертацията и автореферата.

Тези бележки не променят общото много добро впечатление, което прави представения труд и всички документи по процедурата за защита.

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

Дисертацията е структурирана добре и предвид получените научно-приложни приноси, броя и качеството на публикациите и цитиранията, смяtam, че разработеният от Цветозар Цанев дисертационен труд отговаря напълно на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за прилагането му, както и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ-София. Давам положителна оценка и убедено предлагам 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: 04.01.2024 г.  
гр. София

ЧЛЕН НА ЖУРИТО: (н) (проф. д-р Катя Вутова)





**OPINION**

**on dissertation work for getting educational and scientific degree "doctor" (PhD) in the field  
of higher education "Technical studies," professional field 5.2 "Electrical engineering,  
electronics and automation," scientific specialty "Technology of the electronic production"**

*Author of the dissertation:* MS Eng. Tsvetozar Damianov Tsanev, Department "Microelectronics", Faculty of Electronic Engineering and Technology (FEET) at the Technical University - Sofia (TU-Sofia)

*Dissertation theme:* "Investigation of oxide and hybrid oxide-polymer piezoelectric elements with application in nanoelectromechanical systems (NEMS)"

*Member of the scientific jury:* Professor Katia Zheleva Vutova, DSc, PhD, Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia

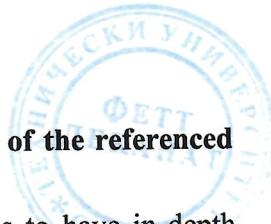
MS Eng. Tsvetozar Damianov Tsanev is a full-time PhD student in the department "Microelectronics", FEET, TU-Sofia. All the necessary documents for the dissertation defense procedure have been submitted.

The dissertation contains 163 pages, including an introduction, 4 chapters for solving the formulated main tasks, a list of dissertation publications, a list of references, a list of citations, and a list of the PhD student's key contributions.

**1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and scientific-applied terms.  
Level of relevance of the problem and specific tasks, developed in the dissertation.**

The dissertation presents the research and results obtained by the author for oxide and hybrid oxide-polymeric piezoelectric elements relevant to the nano-electromechanical systems with the goal of increasing the process of obtaining piezoelectric voltage and thus electric power. One of the most popular electric transformers incorporated in micro-electromechanical and nano-electromechanical systems are the ones that transform the mechanical deformations and vibrations into electric charge and vice versa through piezoelectric effect. Piezoelectricity and the piezoelectric effect are widely used in various technological fields. With the miniaturization of the elements, the resources for their production also decrease, which leads to energy conservation and price drop, while solutions of new technological problems are needed in order for successful integration and realization to be achieved. The prognosis for the piezonano-generators is that they will continue to develop and they will continue to be incorporated in specific micro and nano-electronic products - home and office devices, sensor networks from Internet of Things (IoT), medicine, transportation, etc. The problems not yet solved are related to achieving high efficiency of the energy transformation and high mechanical resistance in the increasing miniaturization and to the combination with the conventional technologies for microelectronic production. In this dissertation new materials and nanostructures from piezoelectric type are researched for transforming the mechanical pressure in electrical signal, suitable for powering low-power consumers.

The main goal of this dissertation is increasing the process of obtaining piezoelectric voltage and as a result of this of electrical power in leadless thin-layered materials obtained using a technology similar to the technology used for producing integrated circuits that haven't been researched up to now. For achieving the intended goal, the author formulated four main tasks related to the development of technology for obtaining nanolayers from new leadless materials with controlled and regenerative parameters over different substrates (silicon and flexible polymeric); obtaining piezoelectric oxides with integrated atoms in the crystal lattice with various applications; creating concentrators of mechanical voltage with suitable geometry and placing over the flexible substrate for increasing the mechanical pressure and increasing the production of piezoelectric charge from a surface unit; nanoconstruction of leadless piezoelectric oxides and polymers for creating a multitude of matrix organized nanofiber structures the piezoelectric voltage of which is summed up. This defines the relevance of the researched problem from a scientific and scientific-applied point of view.



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

In order to complete the tasks presented in the dissertation, the author needs to have in-depth knowledge of the field of thin-layered piezoelectric elements from leadless materials and technological methods for their obtaining. Based on the material presented in the dissertation, I think that the author knows really well this field and has successfully and creatively interpreted and applied the literature in the field. The goal and the tasks to be solved are formulated using this base and adequately relate the specificity and problems of the theme.

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

The content of the dissertation corresponds to the goal and tasks. Simulation and experimental research is conducted on the influence of the size and placement of round concentrators and mechanical voltage in microscale on the behavior of the thin-layered flexible piezoelectric generators on the base of KNbO<sub>3</sub>. The topology of the concentrators for achieving maximal level of obtaining piezoelectricity in a given frequency range is optimized. A technology for producing thin-layered piezoelectric generators with improved efficiency for transforming is developed as a result of the layers structured with concentrators. Filling in of the nanostructured piezoelectric aluminium oxide with piezoelectric oxide and with piezoelectric polymer is realized and it is proven that in this way the nanostructured piezoelectric materials generate higher voltage compared to the non-structured ones. The chosen methodology for research and obtained results shows complete overlap between the planned goals and tasks for the study and the contributions achieved.

**4. Scientific and / or applied scientific contributions to the dissertation.**

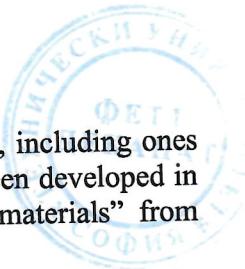
The material presented in the dissertation, on which the contributions are built, has applied scientific character. The results are analyzed and published in authoritative journals, as well as presented at specialized scientific forums, which is also proof of their reliability.

The contributions are of applied scientific nature and can be related to the creation of piezoelectric structures from under-researched leadless oxides over flexible substrates for application in nanoelectricalmechanic systems and matches completely the material of the work.

I evaluate the contributions as the development of technology for controllable production of nanocoatings from newly synthesized piezoelectric material potassium niobate (KNbO<sub>3</sub>), as the available energy from thin-film converters from it is ~7.8 mW/N; a technology for controllable preparation of nanocoatings from newly synthesized piezoelectric material zinc-gallium oxide (GZO) was developed and a membrane-type sensor structure with improved sensitivity (5 mV/g.mm<sup>2</sup>) was obtained; a topology for structuring nanoscale layers in the generator structure for increased electrical energy yield at resonant frequency in the low-frequency range is proposed, and a technology for manufacturing thin-film piezoelectric generators with improved conversion efficiency is developed; a technology for nanostructuring of piezoelectric oxides and polymers in the form of nanofibers in nanoporous anodic aluminum oxide was developed, and generator elements with increased efficiency of converting mechanical impacts into electrical energy were realized. In this context, I consider the contributions received to be undoubtedly useful and significant.

**5. Evaluation of the dissertation publications.**

The presented 7 publications cover the main elements of the dissertation and they are as follows: 2 of them are in specialized scientific journals with impact factor in Q1 and Q2 indexed in Web of Science and Scopus; 2 are with SJR and one of them is in Q3; 2 are in IEEE conference proceedings referred in Scopus and 1 is in an international journal. One of the papers is authored only by T. Tsanev; T. Tsanev is the first co-author in 3 publications and the second co-author in 3 publications. All publications are in English. A list of 13 independent citations, concerning four of the presented publications, is presented. The results have been presented at 5 international scientific conferences in



Bulgaria and abroad and are related to the completion of 3 scientific research projects, including ones financed by the Bulgarian National Fund for Scientific Research. Lab manuals have been developed in the fields "Microelectronic technologies for alternative energy sources" and "Nanomaterials" from master programs in FEET, TU-Sofia.

Given these facts, I believe that the main results of the dissertation have become available to the international and Bulgarian scientific community.

#### **6. Critical comments and recommendations.**

The dissertation is a completed research work with the right choice of solutions and methods to achieve the goal, the volume of work performed and the results achieved.

I have the following remarks on the dissertation: in the summary the author's, papers from the list of publications based on the dissertation are not cited in the text; 13 independent citations are marked by foreign authors, but the list with citations shows only 12 citations; there are some grammatical errors in the text of the dissertation and the summary.

These remarks do not change the overall very good impression made by the dissertation work presented.

#### **7. Conclusion with a clear positive or negative assessment of the dissertation.**

The dissertation is well structured and considering the received applied scientific contributions, the number and quality of the published papers and citations, I think that the dissertation developed by Tsvetozar Tsanev fully meets the requirements of the Law for development of the academic staff in Bulgaria as well as The regulations for the terms and conditions for acquiring scientific degrees at TU-Sofia. I give a **positive assessment** and convincingly propose to the scientific jury to award MS Eng. Tsvetozar Damianov Tsanev the educational and scientific degree "Doctor" (PhD) in the field of higher education "Technical studies," professional field 5.2 "Electrical engineering, electronics and automation," scientific specialty "Technology of the electronic production".

04.01.2024  
гр. София

Prof. K. Vutova (н)

