



## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“ в област на висше образование 5. „Технически науки“, професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, научна специалност „Технология на електронното производство“

*Автор на дисертационния труд:* маг. инж. Раде Томов, катедра „Микроелектроника“, Факултет Електронна техника и технологии, Технически университет – София

*Тема на дисертационния труд:* „Изследване на многослойни металizacionни системи в съвременните микро- и наноелектронни устройства“

*Рецензент:* доц. д-р Светозар Кръстев Андреев, 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**

Представената работа и резултати в настоящата дисертация са върху тематика, свързана със създаването, изучаването и приложението на нови наноматериали в електрониката, една от най-съвременните тенденции в световен мащаб. По тази проблематика се срещат относително малко данни в световните научни среди, което доказва нейната новост и съответно, нейната актуалност.

Предложената дисертация изследва процесите по създаването на метализация и осъществяването на електрически връзки на нови функционални нано-слоеве като карбин, емексен и други към периферията на електронната система. Представени са и резултати от задълбочените изследвания на интерфейса метализация – нано-слой и произтичащите тип (омичен или Шотки), контактно съпротивление, честотна зависимост, дифузия на слоевете, бондируемост и други.

Актуалността на работата се подчертава и от обществената и научна значимост, както посочва и самия автор, а именно иновации в електрониката и реализирането на нови по-качествени устройства за медицина, роботика, енергетика и комуникации, принос за развитието на материалознанието по отношение на нано-материалите и др.

Според казаното дотук смятам, че изследваният проблем е актуален.



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

В дисертацията са използвани 130 литературни източника, всички с година на издание след 2007, с изключение на три източника преди 2000 година, които описват фундаментални техники за метализация и методики на измерване. Това показва, че докторантът е запознат с публикациите в областта на изследванията му в широк времеви обхват.

В разработката проличава коректното цитиране на литературните източници, научното навлизане в изследваната проблематика и творческото интерпретиране на използваната литература, както и много доброто визуално представяне на разглежданите техники и постигнати резултати. Литературните източници са цитирани по реда на появяването им в текста.

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

Методиката на изследване точно и последователно следва формулираните задачи и цели в дисертационния труд. Методиката е добре обоснована и за нейната достоверност може да се съди по постигнатите резултати от изследванията, анализите им и формулирането на заключения.

Докторантът методически правилно е структурирал дисертацията. Съставните части на изследването в дисертацията са взаимно свързани. Поставените цел и задачи са постигнати в пълна степен. Прилагането и усъвършенстването на предложените методики развиват знанията и опита на докторанта и допринасят за неговото научно развитие.

## **4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд**

В уводната глава авторът представя актуалност на проблема, обществена и научна значимост на темата и съвременно състояние на научния проблем.

Първа глава представлява литературния обзор, в която авторът се е запознал със световната научна литература по тематиката. След направените изводи са дефинирани нерешените проблеми и съответно целите и задачите на дисертационния труд.

Следващите четири глави представят експерименталната част от работата и са посветени на микроскопски, спектроскопски и електрически измервания на новополучени контактни слоеве от съответно карбин, емексен и дихалогениди.

Приносите са синтезирани след всяка отделна глава.

Следва заключение на дисертационния труд и библиография и проекти.





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

Подкрепям формулираните от докторанта приноси, оценявам ги като научно-приложни и приложни и ги свързвам със създаване на нови методики, методи и модели.

Приносите съдържат елементи на новост, имат характер на обогатяване на научното познание и практика и носят своята значимост.

## **6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите**

Убеден съм, че приносите са лично дело на докторанта. Считам, че получените резултати са оригинални и напълно съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

## **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд:**

Запознах се с научните трудове по дисертацията. Те отразяват в пълна степен разработката.

Основните резултати от работата на докторанта са предмет на общо девет публикации.

Пет от публикациите са отпечатани в списания, публикация № 3 е с Q1 и IF 4,6. Останалите 4 са представени на международни научни конференции у нас и в чужбина.

На всички публикации Раде Томов е първи съавтор. Всичко това подчертава ролята му в създаването и презентирането на резултатите от дисертацията.

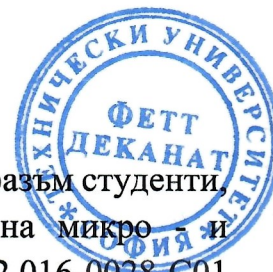
## **8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика**

Резултатите са използвани при изпълнението на два научноизследователски проекти:

1. Проект в помощ на докторанта 232ПД0015-03 „Изследване на металizacionни системи в съвременни микро- и наноелектронни устройства“ към НИС на ТУ-София (2023-2024).

2. Научно-изследователски проект „Подобряване на научноизследователския капацитет и качество за международна разпознаваемост и устойчивост на ТУ-София“ с Договор BG-RRP-2.004-0005-C01, НГ 3.1.8. „Биомедицинско инженерство“.

Получените експериментални постановки са внедрени в учебния процес във Факултет по електронна техника и технологии за ОКС „бакалавър“, специалност „Електроника“, дисциплина „Материали в микроелекторниката“; специализирания курс по „Производство в електронната индустрия“;



организиран от Факултет по английско инженерно обучение за Еразъм студенти, идващи в България и в курса „Проектиране и технологии на микро- и наносензорни елементи“ по проекта „BG05M2OP001-2.016-0028-C01 Модернизация на висшите училища: Технически университет - Варна, Технически университет - София, Технически университет - Габрово и Университет "Проф. д-р Асен Златаров", гр. Бургас“.

Считам, че съвместно с публикациите на докторанта, резултатите са достигнали до широк кръг от научната общественост и носят своето значение.

**9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд**

Представеният автореферат е в обем от 32 страници. Съдържанието му съответства на съдържанието на дисертационния труд. Авторефератът последователно и точно показва отделните глави от дисертацията. В началото е представена обща характеристика на дисертационния труд, включваща актуалността на решавания проблем. Следват целта и задачите на дисертацията, методологичната основа на труда и претенциите за приноси на кандидата. Авторефератът завършва със списъка на публикациите по труда и анотация на английски език.

Оценката ми за автореферата е, че той отговаря на общоприетите изисквания и отразява вярно съдържанието и приносите на дисертационния труд.

**10. Мнения, препоръки и бележки**

В дисертацията са допуснати стилистични грешки и грешки от редакционен характер, като надписи под фигурите, оформление на таблици, липсва обобщен списък на приносите. Препоръчвам да се даде списък с цитирания, ако има такива.

В крайна сметка, получените резултати и полезността на разработката ми позволяват да дам положителна оценка и становище за дисертацията на маг. инж. Раде Томов.

**11. Заключение**

Дисертацията на маг. инж. Раде Томов е завършена научна разработка с висока научна стойност и практическа приложимост и отговаря на изискванията на ЗРАСРБ, ПП на ЗРАСРБ и ПУРПНС в Технически университет – София, за присъждане на образователната и научна степен „доктор“.

Оценявам положително актуалния характер и постигнатите резултати от разработката на дисертацията на маг. инж. Раде Томов „Изследване на многослойни металizacionни системи в съвременните микро- и наноелектронни





устройства” по професионално направление 5.2. „Електротехника, електроника, автоматика”, научна специалност „Технология на електронното производство” и предлагам на уважаемото жури да присъди на маг. инж. Томов 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 : 03.05.2025 г.

гр. София



РЕЦЕНЗЕНТ :

(п)

( доц. д-р инж. Светозар Андреев )





## REVIEW

on a dissertation for the acquisition  
of the educational and scientific degree of "Doctor of philosophy PhD" in  
professional field 5.2 "Electrical Engineering, Electronics, Automation,"  
scientific specialty "Microelectronics".

*Author of the dissertation:* **MSc. Eng. Rade Tomov**

Department of Microelectronics, FETT, Technical University of Sofia

*Title of the dissertation:* **"Research of multilayer metallization systems in modern micro- and nanoelectronic devices"**

*Reviewer:* **assoc. prof. Svetozar Krastev Andreev**, Technical University of Sofia

### **1. Relevance of the problem developed in the dissertation work in scientific and scientific applied terms. Degree and levels of relevance of the problem and specific tasks developed in the dissertation**

The presented work and results in this dissertation are on a topic related to the creation, study and application of new nano-materials in electronics, one of the most modern trends worldwide. There is relatively little data on this issue in the world scientific community, which proves its novelty and, accordingly, its relevance.

The proposed dissertation investigates the processes of creating metallization and implementing electrical connections of new functional nano-layers such as carbyne, emexene and others to the periphery of the electronic system. Results from in-depth studies of the metallization - nano-layer interface and the resulting type (ohmic or Schottky), contact resistance, frequency dependence, diffusion of layers, bondability and others are also presented.

The relevance of the work is also emphasized by the public and scientific significance, as indicated by the author himself, namely innovations in electronics and the implementation of new, higher-quality devices for medicine, robotics, energy and communications, contribution to the development of materials science in relation to nano-materials, etc.

Based on what has been said so far, I believe that the problem under study is relevant.

### **2. Degree of understanding of the problem's state-of-the-art and creative interpretation of the references**





The dissertation uses 130 scientific sources, all published after 2007, with the exception of three sources before 2000, which describe fundamental metallization techniques and measurement methodologies. This shows that the doctoral student is familiar with publications in the field of his research over a wide time range.

The work demonstrates the correct citation of the sources, the scientific penetration into the researched issues and the creative interpretation of the literature used, as well as the very good visual presentation of the techniques considered and the achieved results. The literary sources are cited in the order of their appearance in the text.

### **3. Correspondence of the chosen research methodology with the goal and tasks of the dissertation work**

The research methodology accurately and consistently follows the formulated tasks and goals in the dissertation. The methodology is well-founded and its reliability can be judged by the achieved results of the research, their analysis and the formulation of conclusions.

The doctoral student has structured the dissertation methodologically correctly. The components of the research in the dissertation are interconnected. The set goals and tasks have been achieved in full. The application and improvement of the proposed methodologies develop the knowledge and experience of the doctoral student and contribute to his scientific development.

### **4. Brief analytical description of the nature and assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation are based**

In the introductory chapter, the author presents the relevance of the problem, the social and scientific significance of the topic and the current state of the scientific problem.

The first chapter is a literature review, in which the author has familiarized himself with the world scientific literature on the topic. After the conclusions made, the unresolved problems and, accordingly, the goals and objectives of the dissertation are defined.

The following four chapters present the experimental part of the work and are dedicated to microscopic, spectroscopic and electrical measurements of newly obtained contact layers of carbyne, emexene and dihalides, respectively.

The contributions are synthesized after each individual chapter.

The conclusion of the dissertation and bibliography and projects follow.

### **5. Scientific and/or applied contributions of the dissertation**

I support the contributions formulated by the doctoral student, I evaluate them as scientifically applied and applied and I connect them with the creation of new methodologies, methods and models.





The contributions contain elements of novelty, have the character of enriching scientific knowledge and practice and carry their own significance.

#### **6. Assessment of the degree of personal involvement of the dissertation student in the contributions**

I am convinced that the contributions are the personal work of the doctoral student. I believe that the results obtained are original and fully comply with the requirements for a dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor of philosophy PhD".

#### **7. Assessment of dissertation publications:**

I have become familiar with the scientific works on the dissertation. They fully reflect the development.

The main results of the doctoral student's work are the subject of a total of nine publications.

Five of the publications have been published in journals, publication No. 3 has Q1 and IF 4.6. The other 4 publications have been presented at international scientific conferences in our country and abroad.

Rade Tomov is the first co-author of all publications. All this emphasizes his role in the creation and presentation of the results of the dissertation.

#### **8. Implementation of the dissertation results in scientific and social practice**

The results were used in the implementation of two research projects:

1. Project in support of the doctoral student 232PD0015-03 "Research of metallization systems in modern micro- and nanoelectronic devices" at the NIS of TU-Sofia (2023-2024).

2. Research project "Improving the research capacity and quality for international recognition and sustainability of TU-Sofia" with Contract BG-RRP-2.004-0005-C01, NG 3.1.8. "Biomedical Engineering".

The obtained experimental setups have been implemented in the educational process at the Faculty of Electronic Engineering and Technologies for the Bachelor's degree program, specialty "Electronics", discipline "Materials in Microelectronics"; the specialized course on "Production in the Electronics Industry", organized by the Faculty of English Engineering Education for Erasmus students coming to Bulgaria and in the course "Design and Technologies of Micro and Nanosensor Elements" under the project "BG05M2OP001-2.016-0028-C01 Modernization of Higher Education Institutions: Technical University - Varna, Technical University - Sofia, Technical University - Gabrovo and University "Prof. Dr. Asen Zlatarov", Burgas".

I believe that together with the publications of the doctoral student, the results have reached a wide circle of the scientific community and carry their significance.





**9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main points and contributions of the dissertation work**

The submitted abstract is 32 pages long. Its content corresponds to the content of the dissertation. The abstract consistently and accurately shows the individual chapters of the dissertation. At the beginning, a general characteristic of the dissertation is presented, including the relevance of the problem being solved. This is followed by the goal and objectives of the dissertation, the methodological basis of the work and the claims for the candidate's contributions. The abstract ends with a list of publications on the work and an annotation in English.

My assessment of the abstract is that it meets the generally accepted requirements and faithfully reflects the content and contributions of the dissertation.

**10. Opinions, recommendations and notes**

The dissertation contains stylistic and editorial errors, such as captions under figures, layout of tables, and lacks a summarized list of contributions. I recommend providing a list of citations, if any.

Ultimately, the results obtained and the usefulness of the work allow me to give a positive assessment and opinion on the dissertation of M.Eng. Rade Tomov.

**11. Conclusion**

The dissertation of M. Eng. Rade Tomov is a completed scientific work with high scientific value and practical applicability and meets the requirements for awarding the educational and scientific degree "Doctor of philosophy PhD".

I **positively assess** the topical nature and the achieved results of the development of the dissertation of M. Eng. Rade Tomov "Research of multilayer metallization systems in modern micro- and nanoelectronic devices" in professional field 5.2. "Electrical engineering, electronics, automation", scientific specialty "Electronic manufacturing technology" and I propose to the esteemed jury to award M. Eng. Tomov the educational and scientific degree " Doctor of philosophy PhD " in the field of higher education "Technical Sciences", professional field 5.2 "Electrical engineering, electronics and automation", scientific specialty "Electronic manufacturing technology".

Date : 03.05.2025 г.  
Sofia

REVIEWER: (m)  
( assoc. prof. Svetozar Andreev)

