



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор на науките”,

Област: 5. Технически науки,

Професионално направление: 5.1 Машинно Инженерство,

Научна специалност: Динамика, якост и надеждност на машините, уредите, апаратите и системите

Автор на дисертационния труд: доц. д-р, инж. физ. **Венцислав Митков Янчев**

Тема на дисертационния труд: **Технология на тънкослойните резонансни устройства на лембови микроакустични вълни**

Член на научното жури: проф. д-р, инж. Иван Николов Чавдаров

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение.

Темата на дисертацията е свързана с изследване на резонансни устройства на Лембови микроакустични вълни. Това е нова, иновативна и бързо развиваща се област от техниката и физиката. Терминът „вълна на Лемб“ се отнася до типа вълна, съществуваща в тънка плоча, която изисква свободни горни и долни граници, за да се поддържа разпространението и. За първи път през 1917г. английският математик Хорас Лемб (Lamb) публикува своя класически анализ и описание на акустични вълни от този тип, а действителните научни изследвания започват едва през 90-те години на миналия век. Изследванията върху технологията на тънкослойните резонатори на Лемб вълни започва през 2005г.

Развитието на изследванията в тази област е изключително перспективно и свързано с проектирането на 5G комуникационни филтри, базирани на вълните на Lamb. След 2020г. технологията се въвежда в масово производство с основно приложение в широколентовите 5G безжични комуникационни системи. Намира приложение при: мобилни телефони; в RF комуникационните филтри; сензорни елементи; високочестотни

приложения и др. Дисертацията изследва иновативни приложни и теоретични модели свързани с технологията за създаване на тънкослойните резонансни устройства на Лембови микроакустични вълни.

Поради тези причини смятам, че темата на дисертацията е актуална в научно, научно-приложно и приложно отношение.

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

Авторът е използвал и цитирал общо 198 литературни източници, като всички са на английски език. Статиите обхващат последните 25 години и съществена част от тях са публикувани в реномирани, реферирани, международни списания и конференции.

Направен е литературен преглед и анализ на съвременното научно ниво в областта на технологията за създаване на тънкослойните резонансни устройства базирани на Лембови микроакустични вълни. Той представя съвременната микроакустика преди и след изобретяването на технологията на тънкослойния резонатор с вълни на Лемб и анализ на характеристиките на разпространение и възбуждане на вълните на Лемб.

В литературния обзор и анализ докторанта се е запознал с огромно количество материали по темата. Резултатите от тази дейност са систематизирани и творчески интерпретирани.

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

В дисертацията се ползват адекватни известни методи за изследване на разпространението на вълни на Лемб в периодични системи. Извършен е квази-статичен анализ на възбуждането на S_0 вълни на Лемб на периодични електродни структури. Разработени са алгоритми за изследване посредством метода на крайните елементи, като е извършено допълнение към анализа за дисперсионните характеристики на Лембовата вълна в равнината на дифракция. Представен е анализ на собствени честоти на 3D периодична клетка, на която са наложени Floquet-Bloch периодични гранични условия в съответствие със закона на Snell. Ползван е специализиран софтуер Multiphysics COMSOL. Резултатите от симулациите са сравнени с получените от аналитичните методи. Ползвани са експериментални методи, при които се измерва проводимост на резонаторите в структурата. Извършено е оптимизиране в среда за анализ на радиочестотни прибори свързана към аналитичен инструмент базиран на метода на крайните елементи за симулация на акустичните резонатори.

Методите са адекватни и съответстват на поставената цел в дисертацията.

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

Работата е структурирана в шест глави. Глава 1 „Съвременна микроакустика преди и след изобретяването на технологията на тънкослойния резонатор на Лемб-вълните“, представя нивото на предходните изследвания в областта. Разгледани са технологиите на резонаторите: с обемни акустични вълни; с повърхностни акустични вълни и с вълни на Лемб за радиочестоти. Втора глава „Анализ на разпространението и характеристиките на възбуждане на S_0 Лембови вълни“, описва разработването на аналитични инструменти в подкрепа на проектирането на тънкослойни Лембови резонатори. Глава 3 представя проектирането, прототипирането и определянето на характеристиките на тънкослойни резонатори на Лембови акустични вълни. Глава 4 е озаглавена „ S_0 Резонатори на Лемб вълни в приложения за честотен контрол и сензори“ и изследва приложимостта на тънкослойната технология базирана на S_0 вълни на Лемб в AlN мембрани. Представен е честотен генератор с нисък шум, в който Лембовия резонатор се използва като стабилизиращ елемент в схема с положителна обратна връзка. Глава 5 „ A_1 Резонатори с вълни на Лемб върху субмикрометрови LiNbO₃ пластинки“ показва разработването на тънкослойната резонансна технология на Лембови вълни. Заключителната глава е озаглавена: „Представената теза накратко“ и включва финални бележки. Като част от тази глава са дефинирани приносите на дисертацията, които са мотивирани и валидирани в предходните глави.

5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд:

Приносите на дисертацията имат научно-приложен характер и могат да се формулират по-кратко като следва:

За първи път е въведена и описана тънкослойната технология базирана на Лембови акустични вълни описваща нов клас радиочестотни микро-акустични резонатори на базата на тънки пиезоелектрични слоеве. Предложена е нова резонаторна структура с двойна електрическа шина за потискане на нежелани напречни паразитни модове в структурата. Разработени са S_0 Лембови резонатори с вградена температурна компенсация на честотата.

Създаден е модел и е извършена оптимизация на тънкослойни резонатори на Лембови акустични вълни. Разширени и адаптирани са аналитични модели на базата на теоремата на Floquet-Bloch и функциите на Green. Аналитичните процедури са обогатени чрез използването на анализ посредством метода на крайните елементи.

Предложени и прототипирани са принципно нов тип резонансни структури на Лембови акустични вълни.

Извършени са изследвания във връзка с практическите приложения на тънкослойните Лембови резонатори. Проектиран е честотен генератор с нисък шум, стабилизирани посредством S0 Лембов резонатор. Създаден е прототип, който има висока мощност и нисък базов термичен шум.

Изобретен е тънкослоен резонатор на A1 Лембова вълна с разширена честотна лента с повишени работна мощност и надеждност.

Разработен е софтуер за проектиране на тънкослойни Лембови резонатори. Софтуера позволява проектирането на практически значими резонансни структури базирани на вълни на Лемб. Разработена е система за оптимизация, която комбинира акустични модели, електромагнитни модели и модели за радиочестотно оптимизиране.

Приложни приноси:

MEMS технологията е адаптирана към стандарти за успешно създаване на прототипи на тънкослойни Лембови резонансни структури. Разработени са диаграми на процесите за прототипиране на Лембови резонатори.

Разработена е комуникационна система с ниска консумирана мощност чрез интегриране на трансформаторни чипове базирани на Лембови вълни.

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

От анализа на дисертационния труд оставам с убеждение, че в неговата цялост той е дело на докторанта. Същинската част на изследванията, написването на дисертационния труд, провеждането на експерименти и приносите приемам за дело на докторанта.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд:

За участие в конкурса кандидатът доц. Венцислав Янчев е представил списък от общо 30 заглавия, като 29 от тях са реферирани в SCOPUS, а от тях една е самостоятелна. 7 от статиите са реферирани и в IEEE. В 8 от статиите докторанта е първи автор. Представен е списък с 8 US патента, като 4 от тях са самостоятелни.

Справка в SCOPUS показва, че статиите на Венцислав Янчев са цитирани от други автори повече от 2400 пъти.

Статиите и цитатите покриват и многократно надвишават необходимия брой точки спрямо Правилника за прилагане на закона за развитието на академичния състав в Република България, за образователна и научна степен Доктор на науките.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението.

Въпреки, че няма предоставени документи за приложения от индустриални фирми на резултатите от дисертацията, голяма част от приносите са свързани със създаването на практически приложими прототипи. Смятам, че резултатите имат поне косвено отношение към индустриални приложения в областта на телекомуникациите. Няма предоставени документи за пряк икономически ефект.

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.

Авторефератът е оформен съгласно изискванията и адекватно отразява задачите, резултатите и претенциите за приноси на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Темата на дисертацията е актуална и изисква комплексни познания. Прави добро впечатление, че работата е съсредоточена в един конкретен проблем, върху който докторанта е работил с години. Темата е разработена теоретично, експериментално и приложно. Резултатите са публикувани в реферирани и индексирани издания и многократно цитирани. Дисертацията представя не само теоретични и експериментални резултати, но е подкрепена и с патенти.

Основните ми препоръки са свързани с начина на изложение, структурата и стила на дисертацията:

Целта и задачите са формулирани в самото начало на дисертацията. Смятам, че те могат да се формулират по-ясно и по-кратко. Добре е целта да се формулира в едно изречение, например: Целта е изследване на тънкослойна резонансна технология на Лембови вълни в нейните теоретични и приложни аспекти. Освен това, обикновено целта и задачите се поставят след литературния преглед и анализ и би трябвало да се дефинират като логическо следствие на литературното проучване.

В автореферата и дисертацията се срещат многословни и неясни сентенции, като например: стр.57 на реферата „Глава 3 е посветена на проектирането, прототипирането и характеризирането на тънкослойни резонатори на Лембови акустични вълни в с-

текстуриран пиезоелектричен AlN израснат върху силициева подложка (типично 4" - 6").“

Смятам, че стила на писане може да се подобри, като се ползват по-малко съкращения и по-достъпни изрази. На места текстът е накъсан и не последователен.

Препоръчвам да се внимава при организирането и представянето на научните резултати. В дисертацията и автореферата е посочена различна информация за броя на ползваните статии. В автореферата на стр.7 е посочено, че дисертацията има 4 глави, а в действителност те са 6.

Посочените критични бележки не оспорват стойността на научните и научно-приложни приноси на дисертацията. Те са признати от световната научна общност, което се доказва с големия брой цитирания на научните статии и признатите 8 патента.

След като се запознах с представените материали и дисертацията и въз основа на направения анализ на тяхната значимост и съдържащи се в тях научно-приложни приноси, потвърждавам, че отговарят на изискванията на ЗРАСРБ.

11. Заключение

Дисертационния труд представя актуална научно-приложна проблематика. В него има постигнати оригинални научно-приложни приноси. След прегледа на представените в процедурата документи и научни материали, въз основа на анализа на тяхната значимост и съдържащите се научни приноси, съм убеден, че научните постижения отговарят на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), реда за неговото прилагане и съответните правила на Техническия университет - София, за академичната длъжност „доктор на науките“ в научната област на процедурата. Не са открити доказателства за плагиатство в представените научни трудове.

Тези мотиви ми дават основание да препоръчам на Научното жури да присъди на доц. Венцислав Янчев, образователната и научна степен **ДОКТОР НА НАУКИТЕ**.

Дата: 10.01.2025г.

София

ЧЛЕН НА ЖУРИТО:

/Проф. Иван Чавдаров/



REVIEW

Of a thesis for the award of the academic degree "Doctor of Science"

Field: 5. Technical sciences

Sub-field: 5.1 Mechanical engineering

Specialisation: Dynamics, Strength, and Reliability of Machines, Instruments, Devices, and Systems

Author of the thesis: Assoc. Prof. PhD, Eng., Phys. **Ventsislav Mitkov Yantchev**

Topic: **The Thin-Film Lamb Wave Resonator Technology**

Scientific Committee member: Prof. PhD, Eng., **Ivan Nikolov Chavdarov**

1. Relevance of the problem addressed in the thesis in scientific and applied-scientific terms.

The thesis explores the topic of thin-film micro acoustic Lamb wave resonator technology. This is a new, innovative, and rapidly developing area of engineering and physics. The term "Lamb wave" refers to a type of wave that exists in a thin plate, which requires free upper and lower surfaces to sustain its propagation. For the first time, in 1917, the English mathematician Horace Lamb published his classical analysis and description of acoustic waves of this type, while actual scientific research only began in the 1990s. Studies on the technology of thin-film Lamb wave resonators started in 2005.

The development of research in this field is highly promising and is closely related to the design of 5G communication filters based on Lamb waves. Since 2020, the technology has been introduced into mass production, primarily for use in broadband 5G wireless communication systems. Applications include: mobile phones; RF communication filters; sensor elements; high-frequency applications; and others. The dissertation investigates innovative theoretical and applied models related to the technology for fabricating thin-film resonant devices based on Lamb micro-acoustic waves.

For this reason, I consider the topic of the thesis to be relevant in scientific, applied-scientific, and applied terms.

2. Degree of understanding of the problem and creative interpretation of the literature.

The author has used and cited 198 literature sources, all of which are in English. The references encompass the last 25 years and a significant number of them have been published in reputable, peer-reviewed international journals and conferences.

A literature review and analysis have been conducted on the current scientific state of the technology for fabricating thin-film resonant devices based on Lamb micro-acoustic waves. It presents the development of modern microacoustics before and after the invention of the thin-film Lamb wave resonator technology, and provides an analysis of the propagation and excitation characteristics of Lamb waves.

In the literature review and analysis, the candidate examined a large body of material on the subject. The results of this work have been systematized and creatively interpreted.

3. Consistency of the chosen research methodology and the objectives and tasks of the thesis with the achieved contributions.

The dissertation uses adequate known methods for studying the propagation of Lamb waves in periodic systems. A quasi-static analysis of the excitation of S0 Lamb waves on periodic electrode structures has been performed. Algorithms for studying them using the finite element method have been developed, and an addition has been made to the analysis of the dispersion characteristics of the Lamb wave in the diffraction plane. The thesis analyses the natural frequencies of a 3D periodic cell on which Floquet-Bloch periodic boundary conditions have been imposed in accordance with Snell's law. A specialized Multiphysics COMSOL software has been used. The simulation results have been compared with those obtained from analytical methods. Experimental methods have been utilised in which the conductivity of the resonators in the structure is measured. Optimization has been performed in an environment for analysing radio frequency instruments, connected to an analytical tool based on the finite element method for simulating acoustic resonators.

The methods are adequate and correspond to the thesis' objective.

4. Brief analytical characterization of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the thesis are based.

The thesis is structured in 6 chapters. Chapter 1. "*State of the art micro-acoustics before and after the invention of the thin film Lamb wave resonator technology*" presents the existing research on the topic. The following resonator technologies have been examined: bulk acoustic

wave resonators; surface acoustic wave resonators; and Lamb wave resonators for radio frequencies. Chapter 2. *"Analysis of the propagation and the excitation characteristics of S0 Lamb waves"* describes the development of analytical tools to support the design of thin-film Lamb wave resonators. Chapter 3 *"Technology and prototyping of AlN based Lamb wave resonator structures"* presents the design, prototyping, and characterization of thin-film Lamb wave resonators. Chapter 4 *"S0 Lamb wave resonators in frequency control and sensing applications"* investigates the applicability of thin-film technology based on S0 Lamb waves in AlN membranes. A low-noise frequency generator is presented, in which the Lamb wave resonator is used as a stabilizing element in a positive-feedback circuit. Chapter 5 *"A1 Lamb wave resonators on LiNbO3 sub-micrometer platelets"* demonstrates the development of thin-film Lamb wave resonator technology. The concluding chapter outlines the contributions of the dissertation are defined, which are motivated and validated in the preceding chapters.

5. Scientific and/or applied-scientific contributions of the thesis.

The contributions of the dissertation are of applied-scientific nature and can be summarized as follows:

For the first time, thin-film technology based on Lamb acoustic waves has been introduced and described, defining a new class of radio-frequency micro-acoustic resonators based on thin piezoelectric layers. A novel resonator structure with a double busbar has been proposed to suppress unwanted transverse parasitic modes in the structure. S0 Lamb resonators with built-in compensation of the temperature coefficient of frequency have been developed.

A model has been created and thin-film Lamb wave resonators have been optimised. Analytical models based on the Floquet-Bloch theorem and Green's functions have been extended and adapted. The analytical procedures have been further enhanced using finite element method (FEM) analysis.

New types of Lamb wave resonant structures have been proposed and prototyped.

Studies on the practical applications of thin-film Lamb resonators have been conducted. A low-noise frequency generator stabilised by an S0 Lamb resonator has been designed, and a prototype has been created with high power and low intrinsic thermal noise.

A thin-film A1 Lamb wave resonator has been invented with extended bandwidth, higher operating power, and improved reliability.

Software for the design of thin-film Lamb resonators has been developed. This software enables the design of resonant structures based on Lamb waves with significant practicality. An optimisation system combining acoustic, electromagnetic, and radio-frequency models has been developed.

Applied contributions:

The MEMS technology has been adapted to the standards required for the successful fabrication of thin-film Lamb resonator prototypes. Process flow diagrams for prototyping Lamb resonators have been developed.

A low-power communication system has been developed by integrating transformer chips based on Lamb waves.

6. Evaluation of the degree of the candidate's personal involvement in the contributions.

Based on the analysis of the dissertation, I am convinced that it is the work of the candidate in its entirety. I consider the main part of the research, the writing of the dissertation, the execution of experiments, and the resulting contributions to be the work of the candidate.

7. Assessment of publications related to the dissertation.

The candidate, Assoc. Prof. Ventsislav Yantchev, has provided a list of 30 publications in his application. 29 of the publications are indexed in SCOPUS, one of which is a single-author publication. 7 of the papers are also indexed in IEEE. In 8 of the papers, the doctoral candidate is the first author. A list of 8 US patents is presented, 4 of which are single-author patents.

A SCOPUS query shows that Assoc. Prof. Ventsislav Yantchev's publications have been cited by other authors more than 2,400 times.

The publications and citations meet and significantly exceed the required number of points in accordance with the Regulations for the Implementation of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria (ЗПАКРБ) for the award of the academic degree "Doctor of Sciences."

8. Realisation of the dissertation results in scientific and social practice. Evidence of direct economic impact and supporting documentation.

Although no documentation has been provided regarding the application of the dissertation results by industrial companies, a large portion of the contributions is related to the development of practically applicable prototypes. I consider that the results have at least an indirect relevance to industrial applications in the field of telecommunications. No documentation has been provided demonstrating a direct economic impact.

9. Evaluation of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main findings and contributions of the dissertation.

The abstract is prepared in accordance with the requirements and adequately reflects the objectives, results, and claimed contributions of the dissertation.

10. Opinions, recommendations, and comments.

The dissertation topic is relevant and requires comprehensive expertise. It makes a good impression that the work is focused on a specific problem on which the doctoral candidate has worked for many years. The topic has been developed theoretically, experimentally, and from an applied perspective. The results have been published in peer-reviewed and indexed journals and have been cited multiple times. The dissertation presents not only theoretical and experimental results but is also supported by patents.

My main recommendations are related to the manner of presentation, the structure, and the style of the dissertation:

The research objectives are stated at the very beginning of the thesis. I believe that they could be stated more clearly and more concisely. It would be preferable for the objective to be formulated in a single sentence, for example: *The objective is to investigate thin-film Lamb wave resonator technology in its theoretical and applied aspects.* In addition, the objectives and tasks are more commonly presented after the literature review and analysis, and ought to be framed as a logical continuation of the existing research.

Both the abstract and the dissertation contain numerous verbose and unclear statements, for example on page 252: "Chapter 3 is dealing with the design, the fabrication and the characterization of thin-film Lamb wave resonators on piezoelectric c-textured AlN deposited

on Si substrate (4" wafer)." I believe that the writing style could be improved by using fewer abbreviations and more accessible expressions. In some places, the text is fragmented and lacks consistency.

I recommend exercising greater care in the organisation and presentation of the scientific results. The dissertation and the abstract provide inconsistent information regarding the number and types of publications used. On page 7 of the abstract, it is stated that the dissertation consists of 4 chapters, whereas in reality it contains 6.

The above critical remarks do not call into question the value of the scientific and applied contributions of the dissertation. These contributions have been recognised by the international scientific community, as demonstrated by the large number of citations of the scientific publications and the granted 8 patents.

After reviewing the submitted materials and the dissertation, and based on the analysis of their significance and the scientific and applied contributions they contain, I confirm that they comply with the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria (3PACPB).

11. Conclusion.

The dissertation presents a topical scientific and applied research problem and contains original scientific and applied contributions. After reviewing the documents and scientific materials submitted in the procedure, and based on the analysis of their significance and the scientific contributions contained therein, I am convinced that the scientific achievements meet the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria (3PACPB), the regulations for its implementation, and the relevant rules of the Technical University of Sofia for the award of the academic degree "Doctor of Sciences" in the scientific field of the procedure. No evidence of plagiarism has been found in the submitted scientific works.

These considerations give me grounds to recommend that the Scientific Committee award Assoc. Prof. Ventsislav Yantchev the academic degree "Doctor of Sciences".

Date: 10.01.2026

Sofia

Committee member:

/Prof. Ivan Chavdarov/