Р Е Ц Е Н З И Я

По конкурс за заемане на академичната длъжност „професор“, професионално направление 4.1.“Физически науки“, научна специалност „Физика на кондензираната материя“ обявен за нуждите на Централна лаборатория по приложна физика при Българска академия на науките в Държавен вестник, брой 26, стр.136 от 01.04.2022 г.

Единствен кандидат по конкурса: Лиляна Петрова КОЛАКЛИЕВА, доцент, доктор в Централна лаборатория по приложна физика БАН

Рецензент: Иван НЕДКОВ Иванов, дтн, професор, ИЕ БАН

1. Общо описание на представените материали

Документите на доц. д-р Л.П. Колаклиева по конкурса са в съответствие с изискванията на ЗРАС на Р. България Правилника за приложение на ЗРАС на БАН и изискванията на Научния съвет на ИФТТ БАН (актуализирани на 18.04.2019 г.) за направление 4.1. Предмет на тази рецензия са документите, които кандидатката е приложила в Авторска справка за научни и научно-приложни приноси (Табл.1 и 2) и съпътстващи документи, включително дипломи за висше образование и за образователна и научна степен „доктор“, научни трудове, изобретения, цитати, данни за участие в научни проекти, договори, внедрявания с икономически ефект, обучение на докторанти и др. Приложените материали отговарят документално на изискванията за участие в конкурс за академичната длъжност „професор“ и са адекватни на професионалното направление и специалността (тематиката) на обявения конкурс.

Доц. д-р Л.П. Колаклиева е завършила през 1980 г. СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет - специалност „Физика“ с отличен успех от държавния изпит със специализация „Физика на полупроводниците“. Успешно е защитила докторантура през 2000 г. с научна специалност 01.03.25 „Електронни, оптични и магнитни свойства на кондензираната материя“ (показател **А1**). Научната й кариера започва в Централната лаборатория по приложна физика (ЦЛПФ) и преминава през класическия път на учен в БАН, съответно физик, научен сътрудник от 3та до 1ва степен и през 2011 г. е избрана за доцент в ЦЛПФ. Специализира във водещи световни научни центрове под ръководството на проф. Синица в РАН (1986 г.), в Швеция – Университета Linkoping под ръководството на проф. Янсен (2002-2004 г.), в гръцкия научно-изследователски център FORT-Hellas през 2000 г. по програмата „НАТО-наука и мир“.

Административното й израстване е своеобразно признание за нейната висока компетентност и акумулиран опит и знания. Доц. д-р Колаклиева е преминала през длъжностите ръководител на група, зам. Директор, като логично развитието й е достигнало до избора й за Директор на ЦЛПФ през 2012 с реализирани два мандата.

2. Публикационна активност (съгласно представената справка)

Доц. д-р Л. Колаклиева е представила за участие в конкурса: автореферат на дисертационен труд, документи за 2 глави от книги, 22 публикации в научни списания (от които 10 с **IF**) и 3 доклади на научни форуми излезли в пълен текст в реферирани сборници. Трудовете на кандидатката са в областта на материалознанието, в частност физика на кондензираната материя и физика на полупроводниците. Представянето на научните публикации за участие в конкурса е организирано в два раздела **А** и **В**, като в раздел **А** са представени публикациите за хабилитационен труд. Останалите публикации са обобщени в раздел **В**.

Дисертационният труд на доц. д-р Колаклиева е на високо научно ниво. Резултатите са публикувани в научни списания с висок рейтинг, съответно: 1 работа в *IEEE Trans.on Electron Devices*, 2 в *Materials Science and Engineering*, 2 в *Materials Science Foroum* и 1 в *Semiconductor Science and Technology*. Представила е доклади на повече от 10 конференции.

Научните трудове на кандидатката за участие в конкурса по показател **В4** (Хабилитационен труд) са номерирани от **А1** до **А8** в табл.2 и включват работи излезли в периода 2009 – 2021 г. Разпределението им по квартали е съответно: **Q1** – 1 бр.; **Q2** – 6 бр.; **Q3** – 1бр. В 5 от работите кандидатката е първи автор, а в 3 кореспондиращ автор. Приносите й в публикуваните изследвания са безспорни и добре различими. Публикационната й активност е с оценка **160** точки, което надхвърля изискванията за академичната длъжност «професор» от **100** точки. В авторската справка има данни за 19 участия с доклади публикувани в пълен текст в материали на конференции (Приложение 1).

По показател **Г7** (Научни публикации) са представени 14 работи, номерирани от **В1** до **В14** в приложената табл.2. Разпределението по квартали е: **Q2** – 4 бр.; **Q3** – 4 бр.; **Q4** – 3 бр. и **Q-3** публикации без **IF** – 10 бр. Доц. д-р Колаклиева е първи автор в 6 от работите, в една от работите е втори автор и в останалите е на на трето и след трето място, като за 3 от тях е кореспондиращ автор. Приносът на кандидатката в представените работи ясно се откроява и е оценен на **206** т. По показател **Г8** (Публикувана глава от книга) са включени 2 глави от книги, публикувани в книги издадени от американско и английско издателства през 2009 и 2012 г. Авторите са двама, като Колаклиева е първи автор. Получените точки по този показател са **30** т. По показател **Г9** (Изобретения) – **75** т., са представени три авторски свидетелства, като в свидетелство №1464 кандидатката е първи автор, а в останалите на 3то и 4то място. По този показател (**Г**) точките на кандидатката са **311** и значително надвишават изискуемите за „професура“ - **220** т.

Прави впечатление, че кандидатката публикува във водещи научни списания (*Semiconductor Science and Technology, Coatings, Surface Engineering, Journ. of Thermal Analysis and Calorimetry* и набиращият научен интерес *Journal of Nano Research*) в областта на нейната активност, които имат високо научно признание.

Бележки и препоръки по представените трудове нямам.

3. Обща оценка за научната, научно-приложната и педагогическата дейност на кандидата

Доц. д-р Л. Колаклиева има добре оформен профил на учен в областта „Физика на кондензираната материя“ със спезиализация в създаването на омови контакти към нови широко зонни полупроводникови структури и наноструктурирани покрития за модифициране на повърхности, технологии за получаването им и изследването на физически взаимодействия в тънкослойни и наносруктурирани покрития за приложение във високотемпературни и високомощни прибори за нуждите на електрониката и микроелектрониката. Доц. д-р Колаклиева е представила документи за участие като член на колектива в 2 национални (2007-2010 г.) и 3 международни проекти (1998 – 2007 г.), които са успешно приключили. Тя е ръководител на 1 проект с ФНИ, 1 с МОН и 1 с Министерството на икономиката. Ръководител е на екипите на ЦЛПФ, които участват в 2 Центъра за компетентност и върхови постижения, финансирани от МОН. Проектите са изпълнени с безспорното участие на ЦЛПФ и приносът на кандидатката е забележим, както по отношение на научните резултати, така и по отношение на организацията на изследователската работа. Привлечените средства по тези проекти (показател **E18**) й обезпечават **785** точки.

Педагогическа дейност. През последните 12 години от кариерата си доц. д-р Колаклиева е била ръководител на трима докторанти, двама от които са отчислени с право на защита, а третият е зачислен през 2020 г.

4. Основни научни и научно-приложни приноси

Приносите на доц. д-р Колаклиева могат да бъдат обобщени в две тематични области: 1. Омови контакти за високомощна и високотемпературна микроелектроника; 2. Наноструктурирани покрития за модифициране на повърхности. Основните научни приноси са отразени в научните публикации, еквивалентни на хабилитационен труд (трудове обозначени с **A**) и тези, извън-хабилитационния труд (обозначени с индекси **B** и **C**).

- ***Тематична област*** *Омови контакти за високомощна и високотемпературна микроелектроника*

Разработена е оптимизирана технология за нанасяне и формиране на омови контакти към AlGaN/GaN HEMT структура, включваща контактни структури от (Ti/Al)TiAu и (Ti/Al)MoAu. Доказано е определящото влияние на температурата при формиране, съотношението на елементите в първия контактен слой (Ti/Al), и бариерните метали (Ti, Mo) върху омовите свойства на тези контакти [**A1.1, A1.2**]. Обяснен е механизмът на формиране на омови свойства и ролята на съотношението (Ti/Al) в първия контактен слой, както и на бариерния слой (Ti или Mo) в (TiAl) контактни структури. [**A1.1, A1.3**]. Установено е, че Mo-бариерен слой редуцира интензивността на дифузията на Au и Al при формиране на омови свойства [**A1.3**].

Получени са нови данни за влиянието на съотношението (Ti/Al) и бариерния слой върху морфологията и състава на повърхността и рязкостта на периферията. Посредством прецизен анализ на морфологията и състава на повърхността е доказано, наличието на метал

с по-висока точка на топене като бариерен слой, в случая Mo, който силно намалява дифузията на алуминия към повърхността, поради което тези контакти са с по-гладка повърхност в сравнение с тези с Ti бариерен слой. Освен върху морфологията на повърхността, бариерният слой влияе върху рязкостта на периферията [**A1.2**].

Разработена е методика за тест на термостабилност и е изследвана надеждността на (Ti/Al) контакти към AlGaN/GaN HEMT структури, която позволява *in-situ* да се изследва контактното съпротивление в условия, съответстващи на работните на HEMTs [**A1.1, A1.2**]. Сравнителният анализ на контакти с еднакво съотношение (Ti/Al) и различни бариерни слоеве показа, че наличието на Mo като буферен слой в контактната структура осигурява висока температурна стабилност [**A1.2**].

Получени са нови данни за влиянието на съотношението Ti:Al върху морфологията и състава на нискоомови контакти Au/Ti/Al към 4H-pSiC. Установено е, че дифузията на Al при отгряване може да лимитира взаимодействията на интерфейса със SiC [**B1.3**,**B1.4**]. Идентифицирани са за първи път бинарните съединения Au_2Ti и Al_3Ti и е показано, че те допринасят за преноса на заряд и така подобряват омовите свойства [**B1.6**]. Подобрените омови контакти са приложени във високоскоростен модулатор в Q-областта [**B1.2**].

Получени са нови данни за процесите в системата Au/Pd/Ti/Pd/SiC при отгряване и **са обяснени механизмите на формиране** на омови свойства, както и тяхната термостабилност при термично третиране в среда на азот и на въздух. Установено е, че при термично третиране на интерфейса Pd/SiC настъпва частична дисоциация на повърхността на SiC до силиций и въглерод [**B1.1**]. Това изследване показа, че присъствието на Ti и Au в състава на контакта силно ограничава агломерацията на паладия и подобрява морфологията на повърхността [**B1.5**]. Същевременно, титанът в контактния слой реагира изцяло с дисоциираните въглеродни атоми формирайки TiC. Установено е, че липсата на свободен въглерод в омовия контакт Au/Pd/Ti/Pd е причина за подобрената му температурна стабилност при продължително термично третиране и високи работни температури [**B1.1, B1.4**].

За пръв път са разработени контакти към AlGaN/GaN HEMT структура, които не съдържат Al с цел подобряване на морфологията на повърхността и рязкостта на периферията на контакта след формиране на омови свойства. Разработени са две нови контактни структури Ti/M/Au и Ti/M/Ti/Au - с M са означени труднотопимите метали Mo, Ni и Pd [**B1.7, B1.8**].

- ***Тематична област.*** *Наноструктурирани покрития за модифициране на повърхности.*

Разработено е градиентно нанокомпозитно покритие TiAlSiN и са изследвани механичните му свойства, структура, състав, оксидационна и корозионна устойчивост с цел - неговото високотемпературно приложение в металообработващата промишленост [**A2.1, A2.2**]. Покритието е изградено от градиентен адхезионен слой Ti-TiN, градиентен нанослой

TiAlSiN и слой нанокомпозит TiAlN/SiN и притежава голяма твърдост (40 GPa). Покритието е с нисък коефициент на триене и има много добра адхезия и стабилност при високи температури [**A2.1**,**A2.2**]. Това покритие е трансферирано в индустрията и се нанася върху режещи металообработващи инструменти и матрици.

Създадено е оригинално градиентно CrAlSiN покритие и е разработена технология за неговото нанасяне. Установено е, че покритието се състои от нанокристали на твърд разтвор $Cr_xAl_{1-x}N$, вградени в аморфна матрица от SiN_x. Покритието е показало висока температурна стабилност [**A2.3**].

Създаден е нов тип нанокомпозитно покритие CrAlSiN-AlSiN с периодично модулиран състав, съчетаващо свръхтвърдост и висока устойчивост на еластични и пластични деформации [**A2.4**]. Доказано е, че за получаването на подобрените свойства е необходимо технологично да бъде постигнат модулиран състав, като всеки период се състои от Cr-обогатена ($Cr_{0.51}Al_{0.41}Si_{0.08}N$) и Al-обогатена ($Al_{0.82}Cr_{0.04}Si_{0.14}N$) области, преходът между които е градиентен. Това изследване предлага един нов подход за подобряване на механичните свойства на нанокомпозитните покрития и съчетаване на свръхтвърдост с много добра здравина [**A2.5**].

Създадена е гама нискотемпературни (< 200 ^oC) технологии за нанасяне чрез разбалансирано магнетронно разпрашване на мултикомпонентни (тройни и четворни) нитриди на Ti, Cr, Al и са изследвани техните механичните свойства, морфология, състав и структура **[B2.3-B2.7].** В резултат на това са получени структури с висока твърдост **[B2.3-B2.7]**, което е много добро постижение за покрития, получени при ниски температури. Охарактеризирано е и влиянието на системата адхезионен-преходен градиентен слой (Ti-TiN и Cr-CrN) върху адхезионно-кохезионните свойства на разработените покрития **[B2.4-B2.7]**.

Получени са нови данни за механичните свойства на покритие AlN, нанесено чрез импулсно лазерно отлагане, в зависимост от технологичните условия [B2.8]. При това изследване е установено, че високите температури на отлагане стимулират реакциите, протичащи на повърхността на подложката и спомагат за формирането на кристалната структура при израстването на слоя. С повишаване на температурата на отлагане в аморфната матрица израстват кристалити с хексагонална структура, в резултат на което твърдостта се повишава. Определена е температурната зависимост на устойчивостта на еластични и пластични деформации.

- ***<u>Научно-приложни приноси в полезни модели</u>***, които не са включени в хабилитационния труд са както следва:

За пръв път се предлага състав и структура на многослойно нанокомпозитно покритие TiAlSiN [C2-1]. Полезният модел (Свидетелство за изобретение № 1464 от 17.08.2011 г) се отнася до многослойно нанокомпозитно покритие, за модифициране повърхността на режещи, пробивни и формоващи инструменти, използвани в металообработващата

индустрия. Предмет на защита са структурата и съставът, включително процентното съдържание на всеки елемент, на многослойното нанокомпозитно покритие TiAlSiN, както и последователността на нанасяне на съставните слоеве и тяхната дебелина.

Планетарен механизъм, осигуряващ непрекъснато и равномерно движение на устройства, предназначени за нанасяне на едно- и многослойни износоустойчиви покрития – Свидетелство № 1631от 17.10.2012 г. **[C2-2].** Предмет на защита е конструкцията на планетарния механизъм.

Многослойно покритие за стоматологични инструменти с висока степен на твърдост, еластичност и нисък коефициент на триене **[C2-3]** - Свидетелство № 1988 от 02.12.2014 г**.** Полезният модел се отнася до многослойно свръхтвърдо покритие с диамантоподобни слоеве за приложение при конструиране и производство на инструменти, които се използват в денталната медицина.

Научните приноси на доц. д-р Колаклиева съчетават по един своеобразен и полезен начин високи научни постижения и бърза ориентация за възможностите за приложение на научния резултат.

5. Отражение на научните публикации на кандидата в нашата и чуждестранна литература

Представеният за конкурса списък от цитирания показва висок интерес и е естествен резултат от публикационната активност на кандидатката. Прави впечатление значителният брой цитирания в реномирани научни списания, като *IEEE Trans. on Plasma Science, Solid-Stsate Electronics, Journ. of Applied Physics, Semiconductor Science and Technology* и др. По показател **Д11** (Цитирания) кандидатката е представила **296 независими цитата** на 58 работи. Тук бих посочил два примера за неформално цитиране с висока оценка, които добре илюстрират ефекта от работите на кандидатката.

Цитираща статия: Y.-H., Liang et all., **Semiconductor Science and Technology**, Volume 28, Issue 12, December 2013, Article number 125010. DOI:10.1088/0268-1242/28/12/125010, където авторите дават висока оценка за научен принос на работа L. Kolaklieva, R. Kakanakov, **Ohmic Contacts for High Power and High Temperature Microelectronics**, Chapter 18 in "Micro Electronic and Mechanical Systems", Edit. Kenichi Takahata, ISBN 978-953-307-027-8, p. 293-318, 2009.

Цитираща статия: Baijun Xiao et all., **Surface and Coatings Technology**, Available online 10 January 2022, 128094. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128094, където е високо оценена работа по изучаването на ганиците между зърната в аморфен Si_3N_4 и нанокомпозитни тънки слоеве от AlTiSi в работа L. Kolaklieva et all., **Mechanical, Structural and Thermal Properties of Multilayered Gradient Nanocomposite Coatings,** Journal of Nano Research**, 17**, 193-203 (2012). *ISSN: 1662-5250*

Данните за кандидатката в Scopus поради промени в жизнения й статус фигурират под две имена - Л. Касамакова и Л. Колаклиева (тя е приложила документ за идентичност на имената), това затруднява определянето на **h-индекса** (при първото име той е **h7** при второто **h5**). Механичното сумиране на данните не е правомерно и е необходимо пресмятане по съществуваща методика на Scopus за такива случай. По моя молба кандидатката на база на списъка от нейни цитирания ми представи графически данни сумирани по тази методика, които съвпадат с моята обработка, при което се получава h 9.5. Предвид на това, че е прието този коефициент да бъде цяло число, по Scopus може да бъде приета стойност **h 9** за оценка.

Общо по показател **Д** получената оценка е **592** точки и значително надхвърля изискуемите **200** точки.

6. Обща характеристика на научната и научно-приложната дейност на кандидата.

Спецификата на научната дейност на доц. д-р Колаклиева в една бързо развиваща се област, като физиката на полупроводниците, създава условия за скъсяване на пътя от научното изследване до приложението. Кандидатката има активна научна дейност с видими научни приноси и успешно приложение на новите решения. На база на обобщения анализ направен по-горе смятам, че доц. д.р Л.П.Колаклиева има показатели, които надвишават минималните национални изисквания за избор на академичната длъжност „професор“. **Общата ми оценка** за публикационната активност на кандидатката **е положителна** и считам, че нейните данни се вписват в изискванията за академичната длъжност «професор».

Сумата от точки, съгласно показател **Е** за кандидатката е **965** точки, при изискуем минимум **150** т.

7. Критични бележки

Формално погледнато кандидатката се вписва в изискванията по отношение на педагогическата си дейност, но считам, че е необходимо да обърне по-голямо внимание в търсенето на контакти с клона на ТУ в гр. Пловдив за обучение на студенти и дипломанти, тъй като те са естествен източник за бъдещи кадри на лабораторията. Разбира се това е по-скоро една препоръка, която не може да повлияе на положителното ми впечатление.

8. Лични впечатления от кандидата

Личните ми впечатления могат да бъдат обобщени, като **положителни**. Контактите ни са били във връзка с административни проблеми и научни консултации в областта на приложението на полупроводникови материали.

9. Заключение

Направеният анализ представен по-горе показва, че по показатели кандидата значително надвишава нормативните изисквания в Правилника към ЗРАС РБ, Правилника за приложение на ЗРАС на БАН и Изискванията на ИФТТ БАН за условията за заемане на конкурсната академична длъжност. Изразявам моето **положително становище** по представената кандидатура и подкрепям убедено доц. д-р Л. П. Колаклиева за заемане на академичната длъжност „професор“ в Централната лаборатория по приложна физика при БАН по професионално направление 4.1. „Физически науки“ - научна специалност „Физика на кондензираната материя“.

03.08.2022 г. Изготвил: **(п)**

София /проф. дтн Иван НЕДКОВ/