

РЕЦЕНЗИЯ

по конкурс за заемане на академичната длъжност „доцент“
по професионално направление 4.1 Физически науки (Електронни свойства на наноразмерни тънкослойни системи) за нуждите на направление „Структурна кристалография и материалознание“ в ИМК-БАН, обявен в „Държавен вестник“, бр. 36 / 29.04.2025 г.

Кандидат: ас. д-р Петър Йорданов Йорданов, ИМК-БАН

Рецензент: проф. дфзн Мирослав Вергилов Абрашев, Физически факултет, СУ „Св. Климент Охридски“

1. Общо описание на представените материали – по конкурса кандидатът е представил 0 монографии, 17 статии, 0 глави от книги, 0 учебници, 2 свидетелства и патенти, списък с 2 научноизследователски проекта. Всички трудове се приемат за рецензиране. Съгласно приложената таблица, съставена от информацията от файловете, дадени в директория 17 „Справка за изпълнение на минималните критерии“ и директория 09 „Справка за цитиранията“ от списъка на документи на кандидата

Група от показатели	Съдържание	Доктор		Доцент	
		Минимално изискване	Постигнати	Минимално изискване	Постигнати
А	Показател 1	50	50	50	50
Б	Показател 2	-	-	-	-
В	Показатели 3 или 4	-	-	100	100
Г	Сума от показателите от 5 до 10			200	210
Д	Сума от точките в показател 11	-	-	50	100
Е	Сума от показателите от 12 до края	-	-	-	-

мога да направя заключението, че са спазени количествените показатели на изискванията на ИМК-БАН за заемане на академичната длъжност „доцент“.

Наукометричните показатели на статиите, представени за участие в конкурса покриват новите минимални изисквания за професионално направление 4.1. Физически науки, публикувани в Държавен вестник 23/18.03.2025 г. (Постановление №17 от 14 март, 2025 г.)

13 публикации с кватил Q1 x 25т.– 325 т.

2 публикации с квантил Q2 x 20 т. – 40 т.
2 публикации с квантил Q3 x 15 т.; – 30 т.
0 публикации с квантил Q4 x 12 т. – 0 т.
0 публикации със SJR; 10 т – 0 т.
0 в книги x 15 т. – 0 т.
0 публикации в списание в Web of Science и Scopus без IF и SJR x8 т. – 0 т.
0 публикация в други списания с научно рецензиране в друга база – 0 т.
0 публикации в неиндексирани списания – 0 т.
2 публикувани патенти 2 бр. x 25 т. – 50 т.
Общо: 445 т.

2. Научната, научно-приложната и педагогическата дейност на кандидата може да се характеризира така: д-р Йорданов е изследовател в областта на науките за материалите – синтетични материали със силно свързани различни физични свойства, т.е. т. нар. мултифероици. Групите изследвани материали са следните: различни видове оксиди ($\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$, PdCoO_2 , YTiO_3 , CaMnO_3 , CaRuO_3 , $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($\text{R}=\text{Y}$, Nd , La), YNiO_3 както и други диелектрици (SiAlON и SiC) и полупроводници. Изследваните образци са керамики, епитаксиални слоеве, израстнати върху различни подложки (SrTiO_3 , LaAlO_3 , $[\text{LaAlO}_3]_{0.3}[\text{Sr}_2\text{AlTaO}_6]_{0.7}$, LaSrAlO_4 , MgO , и Al_2O_3), свръхрешетки или композитни системи. Освен извършил техния синтез, кандидатът владее и е използвал в изследванията си множество експериментални методи: IR и UV-VIS спектроскопия, сканираща електронна микроскопия, рентгеноструктурен анализ, измерване на транспортни свойства (специфично електрично съпротивление) и термоелектрични свойства (коэффициент на Зеебек). Освен в измерванията, кандидатът участва и в дискусиите на резултатите и формулирането на изводите.

Педагогическа дейност на кандидата не е представена.

Научният и преподавателски капацитет на кандидата се основава и се доказва и от следните му участия в различни научни програми, работни срещи и летни училища на института, в който кандидатът работи от 2004-2022 г - Института по физика на твърдото тяло Макс Планк – Щутгарт, Германия:

- Участия в традиционната ежегодна научна среща с изнасяне на доклади, организирана от Института Макс Планк - Щутгарт, в Рингберг – Германия, с международно участие.

- Участия с изнасяне на доклади и представяне на постери в Кластер Ирзее – Германия, свързани с международен научен проект „TRR 80: From Electronic Correlations to Functionality“ на Института Макс Планк – Щутгарт, финансиран от Немския държавен научен фонд.

- Участия с изнасяне на научни доклади и работни срещи във връзка с изпълнение на научно-приложен проект с международно участие на индустриална компания Max-Planck Institute – Stuttgart and Coherent Inc., OR (USA) (Wilsonville, US): „High Operating Temperature Transverse Thermoelectric Materials for use in Laser Power Sensors“.

- Множество участия с изнасяне на доклади и представяне на постери на малки форуми и летни училища, организирани и провеждани в Института Макс Планк – Щутгарт.

- участие в два големи проекта:

а) международен научно-приложен проект с участие на Max Planck Institute for Solid State Research, Stuttgart и индустриална компания - Coherent Inc., OR (USA) (Wilsonville, US): „High Operating Temperature Transverse Thermoelectric Materials for use in Laser Power Sensors“ (завършил успешно с публикуването на научни статии в издания с висок импакт фактор и въвеждането на серия комерсиални продукти – Ултрабързи широколентови сензори за мощно лазерно лъчение)

б) международен научен проект Max Planck Institute for Solid State Research, Stuttgart and the German Research Foundation (DFG): „TRR 80: From Electronic Correlations to Functionality“ (завършил успешно с откритие, патент, и публикуване на научни статии в издания с висок импакт фактор - Генериране на терахерцово лъчение посредством ултрабърз напречен термоелектричен ефект).

3. Отражение на научните публикации на кандидата в българската и чуждестранната литература:

- наукометрични показатели (общ брой статии - 17, от които статии с JCR-IF импакт-фактор - 17, видими в SCOPUS – 16, брой цитирания според SCOPUS – 403, h-index (SCOPUS, Web of Science) – 12). Трябва да се отбележи, че съществена част от статиите на кандидата са публикувани в изключително реномирани списания за физическите науки – 1 в Adv.Mater., 1 в Phys.Rev.Lett, 1 в ACS Applied Materials & Interfaces, 5 в Phys.Rev.B, 2 в Phys.Rev.Materials.

4. Основни научни и/или научно-приложни приноси:

Основните научни приноси в публикациите на кандидата, представени за участие в конкурса са: синтез на поликристални образци, епитаксиално нарастване на наноразмерни тънкослойни системи - слоеве и хетероструктури върху монокристални подложки, извършване на рентгеноструктурно характеризирание, спектроскопски изследвания, изследване на транспортни свойства - електропроводимост (съответно електрическо съпротивление), коефициент на Зеебек (термоелектрични свойства), измерване на времеви характеристики при ултрабърз напречен термоелектричен ефект, генериране на електромагнитно излъчване в терахерцовата област, моделен анализ.

Тук ще коментирам получените резултати (хронологично), разпределени по научната проблематика и спецификата на изследвания обект (числата в скоби са номера на публикациите в списъка за участие в конкурса):

В периода 2000 - 2004 г. кандидатът работи като физик в катедра „Физика на полупроводниците“ на Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, където освен с лабораторни демонстрации на студенти, активно се занимава с научно-изследователска дейност, и в частност - IR и UV-VIS спектроскопия на полупроводникови материали. За периода са публикувани две научни статии [№ 1,2], за които кандидатът извършва

спектроскопски измервания на тънки слоеве от β -FeSi₂ и Mg₂Si, получени по метода на йонна имплантация и участва в обработката и интерпретацията на резултатите.

В периода 2004 - 2009 г. кандидатът продължава научно-изследователската си дейност с работа по дисертационен труд “Spectroscopic study of CaMnO₃/CaRuO₃ superlattices and YTiO₃ single crystals”, в института Макс Планк по Физика на Твърдото Тяло – Щутгарт, Германия, свързан с изграждане на лаборатория по спектроскопски изследвания на комплексни оксиди на преходните метали, включително в приложено външно магнитно поле. Лабораторията е изградена успешно. Изследвани са две системи: монокристален феромагнитен изолиращ YTiO₃ и свръхрешетки, състоящи се от тънки слоеве от парамагнитния метал CaRuO₃ и антиферомагнитния диелектрик CaMnO₃. В случая на YTiO₃, са изучени подробно IR (50 – 700 cm⁻¹) и UV-VIS (1 – 5.5 eV) диапазоните, включващи фононния спектър и високоенергетичните електронни преходи, като функция от температурата, кристалографското направление и големината на приложеното магнитно поле. При свръхрешетките CaRuO₃/CaMnO₃ е извършено детайлно спектроскопско изследване за установяване на профилите на преразпределение на свободни електронни носители и магнитното състояние. Използвани са следните експериментални методи: IR-спектроскопия, рентгеново-абсорбционна спектроскопия и разсейване, както и дихроизъм с кръгова поляризация, като кандидатът участва активно в снемането на спектрите, обработката и анализа на данните. Резултатите от изследванията на тези две системи са публикувани в няколко научни труда [№ 3,5,7,8]. Направените подробни изследвания на магнетизацията на YTiO₃ спомагат за допълнително изясняване на магнитната анизотропия и структурните деформации, съпътстващи прехода към феромагнитно състояние (с $T_c = 27$ K) в YTiO₃ [№ 6]. Кандидатът участва активно в изследвания и на други системи, като прилага успешно различни експериментални оптични методи. В статия [№ 4], е представено детайлно изследване на оптичната проводимост $\sigma(\omega)$ (70 – 4000 cm⁻¹) по c -оста на серия от монокристали от непълно легирани високотемпературни свръхпроводници RBa₂Cu₃O_{7- δ} (R = Y, Nd, La). Резултатите са получени с помощта на елипсометрия, като диапазонът, отговарящ на далечната IR област е снет със спектрометър, базиран на синхротронен източник.

В периода 2011 – 2023 г. кандидатът продължава научната си кариера в института Макс Планк – Щутгарт като постдокторант. Областите на изследванията включват:

1. Синтез на сложни оксиди на преходни метали под формата на поликристални образци, тънки слоеве и хетероструктури, израстнати върху монокристални подложки;
2. Измерване и моделен анализ на термоелектрични свойства – коефициент на Зеебек S , и специфична електрична проводимост при постоянен ток σ (специфично електрическо съпротивление $\rho = 1/\sigma$);
3. Измерване на амплитудни и времеви характеристики – големина на генерирано напрежение U и време за генерация τ , на тънки наноразмерни системи ($d \approx 10 - 100$ nm) за реализация на ултрабърз напречен термоелектричен ефект.

Извършена е голяма по обем научно-изследователска дейност, като част от изпълнението на два проекта – един с участие на частна индустриална компания, имаща за цел разработката на ултрабързи (наносекундни), термично устойчиви детектори на лазерно лъчение, и друг – на националната немска фондация за наука, имащ за цел идентифициране на фундаментални механизми, приложими в устройства с нови функционалности. И двата проекта са успешни, като първият завършва с реализиран на пазара продукт, а работата по втория – с публикации в престижни научни списания, откритие и патенти. Резултатите са публикувани в общо девет научни статии, а откритието е запазено с два отделни патента – европейски и световен. Необходимо да се отбележи, че спецификата на работа по първия проект (2012 - 2017 г.), не позволява публикуването на доста от резултатите. В статия [№ 9] е проведено изследване на термоелектричните свойства – коефициент на Зеебек S , електрична проводимост σ , и топлопроводимост κ , съставляващи т.нар. “figure of merit” $ZT = S^2\sigma T/\kappa$ – мярка за ефективността на преобразуване, на композитни системи SiAlON и SiC, с добавени съответно 5 и 10 обемни % TiCN. Приносът на кандидата в този труд се изразява в измерване на S и ρ , на образците в температурния диапазон 300 – 1000 K, както и в активно участие в дискусиите. Статия [№ 10] представя изследване на термоелектричните свойства S и ρ , съставляващи т.нар. мощностен фактор $P = S^2/\rho = S^2\sigma$, на тънки слоеве от $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$, израстнати епитаксиално върху различни монокристални подложки, като SrTiO_3 , LaAlO_3 , $[\text{LaAlO}_3]_{0.3}[\text{Sr}_2\text{AlTaO}_6]_{0.7}$, LaSrAlO_4 , MgO , и Al_2O_3 . Направен е рентгеноструктурен анализ на степента на деформация на тънкия слой. Данните включват температурната зависимост на S и ρ от T в диапазона 300 – 1000 K, зависимостта от дебелината на слоевете d и от налягането на кислород в средата. Наблюдаваната аномалия – екстремно увеличение на коефициента на Зеебек S при $T > 700 \text{ K}$, при слоеве върху подложки от SrTiO_3 и LaAlO_3 , е обяснено с включването на паралелен механизъм на генерация на термоелектрично напрежение с изключително висок коефициент ($S \approx 1200 - 1600 \mu\text{V/K}$) в тези кристални подложки. Резултатите са описани качествено и количествено с паралелен електричен модел. Кандидатът има водеща роля и принос във всички представени резултати, включващо синтеза на поликристалния материал $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$, израстването на тънките слоеве от $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ с лазерно-импулсно депозиране върху различните подложки, експерименталните измервания на S и ρ , моделното описание, и направените изводи и заключения. В статия [№ 11], е представено пълно експериментално и теоретично описание на термоелектричните свойства на поликристални образци на съединението $\text{Ag}_6\text{Ge}_{10}\text{P}_{12}$, което поради своите специфични електронни и структурни характеристики, показва изключително ниска термална проводимост κ , и съответно висока стойност на $ZT = S^2\sigma T/\kappa$. Приносът на кандидата е в детайлното измерване на параметрите S и ρ в широк температурен диапазон, както и в активното участие в направените дискусия и изводи. Статии [№ 12, 14] дискутират установяване на зависимостта между термоелектричните свойства на хетероструктури от типа $\text{LaNiO}_3 / \text{La}_2\text{CuO}_4$ от дебелината на изграждащите слоеве и прецизия химичен състав на границите между двата материала. Направени са измервания на параметрите S и ρ , както и сканиращо електронно микроскопско изследване. В статия [№ 13] е извършен значителен по обем работа, свързан със синтеза и измерването на термоелектричните параметри S и ρ на наноразмерни тънки

слоеве от силно анизотропния делафосит PdCoO₂, израстнат върху монокристални подложки от Al₂O₃ с различни ъгли на вициналните равнини. Целта е установяване на степента на пространствена анизотропия в коефициента на Зеебек S_{ab}/S_c , както и сравнение с теоретично получените резултати. С изключение на теоретичната част - оценка на параметъра на електрон-електронно взаимодействие, и трансмисионния микроскопски анализ, кандидатът има водеща роля и принос в този труд, включително при синтеза на наноразмерните слоеве, снемане на термоелектрични параметри, рентгеноструктурния анализ, фит-коригиращата процедура, изчислението на потенциалната амплитуда на генерирано напрежение при лазерно-индуциран ултрабърз термоелектричен ефект, дискусията и изводите. Тази работа се явява първото публикувано експериментално потвърждение на теоретичните предвиждания за силно изразена и амбиполярна пространствена анизотропия в PdCoO₂. Разработеният протокол за измерване на коефициента на Зеебек по главните кристалографски направления на PdCoO₂, посредством тънки слоеве с различен ъгъл на инклинация е универсален и може да се използва и при други анизотропни материали, при които не са налични достатъчно големи монокристали. Статия [№ 15] представя допълнение на изследването по установяване на пространствена анизотропия в коефициента на Зеебек в PdCoO₂. В този труд на базата на получените резултати от тънките слоеве, моделно е описан температурния ход на $S(T)$ и $\rho(T)$ в диапазона $T = 300 - 1000$ K на поликристални образци, получени чрез оптимизиран синтез, позволяващ изключително чиста фаза. Проведени са също така и детайлен рентгеноструктурен анализ, микроскопски снимки за потвърждение на морфологията, измерена е и специфичната топлопроводимост, което позволи оценка на ZT . Приносите на кандидата са в снемане на термоелектричните характеристики и моделното описание на измерените ефективни стойности на $S(T)$, $\rho(T)$ и $\kappa(T)$. Моделното описание в този случай е нетривиално, тъй като е резултат от хаотично пространствено разпределение на голям брой силно анизотропни микроскопични монокристални частици, изграждащи поликристалните образци. Резултатите от изследването се съгласуват в пълна степен с голямо по стойност и амбиполярно съотношение S_{ab}/S_c . Установена е и пределната температура на стабилност на PdCoO₂ в инертна (хелиева) атмосфера. Статия [№ 16], представлява обзор на научния труд, извършен в изпълнение на проект „TRR 80: From Electronic Correlations to Functionality“, като приносът на кандидата е отчетен с работите в две направления. Първото се отнася до механизма на ефективно увеличение на коефициента на Зеебек S , и съответно на мощностния фактор $P = S^2/\rho = S^2\sigma$, на тънки слоеве, отложени върху кристални подложки от материали с йонна подвижност при високи температури. В подобен тип подложки протича генериране на малък брой подвижни p -носители чрез процес на обратима рекомбинация на кислородни атоми в кристалните дефекти – кислородни ваканции. От своя страна тези малък на брой носители генерират гигантски стойности $S_{substrate}$, които драстично променят S_{film} . Демонстриран е пример с тънкослойна система на базата на LaNiO₃, който има метален характер и негативен S_{film} , но в следствие на влиянието на подложката при $T > 700$ K, S_{film} променя драстично своята стойност и знак от около -30 μ V/K до 90 μ V/K. Този механизъм не е напълно изучен и предоставя възможности за бъдещи оригинални научни разработки, практически приложения и патенти, включително за ефективно рециклиране на топлинна

енергия, изработка на бързи и прецизни сензори за кислород, и др. Към обзора на статията са включени и резултатите от изследванията на анизотропния метален делафосит PdCoO₂, подробно описани по-горе. Работите по този изключително интересен материал бележат сериозен прогрес с експериментите по установяване на времето за реакция при генерирането на напрежение τ_r в наноразмерни ($d \approx 10 \text{ nm}$) тънки слоеве от PdCoO₂ нарастнати върху вицинални повърхнини на монокристални Al₂O₃ подложки с различен ъгъл на инклинация θ - статия [№ 17]. Наклоненото нарастване на слоест материал със силна пространствена анизотропия на коефициента на Зеебек $\Delta S = S_{ab} - S_c$, води до появата на специален термоелектричен ефект – т. нар. напречен термоелектричен ефект, при който посоките на температурния градиент и генерираното напрежение са перпендикулярни $U_x = l \sin 2\theta \Delta S \Delta T_z / 2d$. Ефектът не само прави възможно използването на тънки слоеве, но и въвежда параметър (време за реакция) принципно нехарактерен за термоелектричния ефект. Времето за реакция тук зависи от дебелината на тънкия филм на втора степен и е обратнопропорционално на термалната дифузия на материала, $\tau_r \approx 0.4 d^2 / D_z$. При това положение при наноразмерни слоеве и прецизен подбор на материал времена за реакция от порядъка на $\tau_r \approx 10^{-12} \text{ s}$ стават напълно постижими. Обикновено времето за реакция се тества с къси наносекундни (10^{-9} s) лазерни импулси, насочени към тънкия слой, а формата и големината на напрежението се измерват с осцилоскоп. Изследването показва, че електроните в тънките слоеве от PdCoO₂ са толкова подвижни, че успяват да реагират и на фемтосекундни лазерни импулси (10^{-15} s) чрез генерирането на ултрабърз токов импулс, водещо от своя страна до излъчване на електромагнитно лъчение в терахерцовата област. С изключение на физическото провеждане на експеримента по детекция на генерираното терахерцово излъчване, кандидатът има водеща роля и главен принос във всички представени концепции, резултати, моделно описание, дискусии и изводи в този труд. Освен публикация в престижно научно списание, откритието доведе и до регистрация на европейски и световен патент [П1,П2], в които кандидатът е главен изобретател.

В резюме определям приносите на кандидата според изискваната класификация като:

- Доказване с нови средства на съществени нови страни на вече съществуващи научни области, проблеми, теории, хипотези;
- Създаване на нови класификации, методи, конструкции, технологии, препарати и др.;
- Получаване и доказване на нови факти;
- Получаване на потвърдителни факти;
- Приноси за внедряване: методи, конструкции, технологии, препарати, схеми и др.;
- Приложение на научните постижения в практиката, реализиран икономически и друг ефект.

5. При колективни публикации да се открие приносът на кандидата. Приносът в публикациите оценявам по:

- Мястото на кандидата сред съавторите на дадена публикация: в публикации 8, 10, 13, 15, 17 Петър Йорданов е на първо място в списъка на авторите.

- За всички статии кандидатът е дал подробно описание на индивидуалния си принос във файла „10 Справка за научните приноси Петър Йорданов“. От това описание оставям с впечатление, че във всички приносите на кандидата е съществен, а в немалка част от тях – и водещ.

6. Критични бележки по представените трудове, вкл. и по литературната осведоменост на кандидата нямам.

7. Въз основа на гореизложеното, препоръчвам на научното жури да предложи на компетентния орган по избора на ИМК-БАН да избере Петър Йорданов Йорданов, отговарящ напълно на изискванията на Правилника на ИМК-БАН, да заеме академичната длъжност „доцент” в професионално направление 4.1 Физически науки (Електронни свойства на наноразмерни тънкослойни системи).

Дата: 03.09.2025

Рецензент:

**Заличено съгласно
чл. 2 от ЗЗЛД**

/проф. дфзн Мирослав Абрашев/