

РЕЦЕНЗИЯ

по конкурс за заемане на академичната длъжност „доцент“, обявен от Централна лаборатория по приложна физика към Българска академия на науките (ЦЛПФ-БАН) в ДВ бр. 52 от 16.06.2023 г. в професионално направление 4.1. „Физически науки“, научна специалност „Физика на кондензираната материя“ (Многофункционални наноструктурирани и наноразмерни материали и нанотехнологии за мехатрониката и медицината)

Кандидат: д-р Василий Атанасов Читанов, главен асистент в ЦЛПФ-БАН

Рецензент д-р Дианка Димитрова Нешева-Славова, професор в ИФТТ-БАН

(заповед No17/19.07.2023 г. на проф. Лиляна Колакчиева, директор на ЦЛПФ)

Гл.ас. д-р Василий Атанасов Читанов е един от кандидатите по обявения от ЦЛПФ-БАН (ДВ бр. 52 от 16.06.2023 г.) конкурс за академичната длъжност „доцент“ (две места) в професионално направление 4.1. „Физически науки“, научна специалност „Физика на кондензираната материя“. Представил е всички изисквани материали за участие в конкурса, които са много добре подредени и описани.

Обща характеристика на кандидата според представените материали

Д-р Читанов завършва висше образование в Технически Университет (ТУ), София, филиал Пловдив, през 2000 г. се дипломира като „магистър инженер по автоматика и системотехника“, а през 2004 г. става „магистър инженер по компютърни системи и технологии“. През март 2023 г. д-р Читанов се дипломира и в Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“ като „магистър инженер-физик“ със специалност „Физика на кондензираната материя“. В периода 2003-2007 г. е задочен докторант в пловдивския филиал на ТУ, София и през 2008 г. придобива ОНС „доктор“ по специалност 02.21.02 „Елементи и устройства на автоматиката и изчислителната техника“ защитавайки дисертационен труд на тема „Алгоритми с невронно-размито моделно предсказващо управление на полимеризационен реактор“. В периодите 2007-2009 г. и 2009-2011 г. е съответно компютърен инженер и н. с. II ст., а от 2011 г. досега е на длъжност „главен асистент“ в ЦЛПФ. От м. февруари 2022 г. е ръководител на групата „Технология и характеризирание на тънки слоеве“ в ЦЛПФ. Отговаря също за поддръжката на чистата стая и апаратурите в нея (наноиндентирание, микроиндентирание/тест на надраскване, калотестер, трибомер), за електронната страница на лабораторията и връзките на ЦЛПФ с обществеността.

Д-р Читанов е бил на обучение и специализации в чужбина общо 8 пъти, в това число Лятно училище в ТУ в Бърно, Чехия (2000 г), едногодишна докторантска стипендия по програма „Еразъм“ в Университета Аристотел в Солун, Гърция (2005-2006), тримесечна докторантска специализация в ТУ, Прага (2007). През 2018 г. и 2022 г. е преминал две обучения по програма „Еразъм“ в Департамента по анализ на повърхности на Йоханес Кеплер Университета в Линц, Австрия, посветени на прилагане на съвременни техники за обработка и характеризирание на материали (приложения на фокусирани йонни снопове, Раманово разсейване, сканираща и трансмисионна електронна микроскопия, атомно силова микроскопия, Оже електронна спектроскопия, ултравиолетова и инфрачервена елипсометрия и моделиране и анализ на елипсометрични резултати). Всичко това го е

изградило като високо квалифициран изследовател. Гл.ас. Читанов притежава важни за изследванията в ЦЛПФ умения за работа с различни най-съвременни апаратури, включително с разнообразно вакуумно оборудване за нанасяне покрития.

Д-р Читанов е съавтор на общо 43 научни публикации, от които 31 са в списания с импакт фактор (ИФ) или импакт ранг (ИР), със 73 независими цитирания, Хирш индекс 4 (SCOPUS). Гл. ас. В. Читанов има 33 участия с доклади на конференции, 20 от тях международни. Ръководил е един проект към Фонд “Научни изследвания” за двустранно сътрудничество с колектив от Австрия, спечелил е проект за подпомагане на млади учени по програма “Наука и Бизнес” към МОН и се е обучавал във Фраунхоферовия институт в Кемнитц, Германия и е участвал в още 9 научни проекта изпълнявани в ЦЛПФ (1 по програмата за Конкурентноспособност на българската икономика, един Център за компетентност и един Център за върхови постижения по ОПНОИР, Инфрамат проект и др.).

Научни и научно-приложни активи представени за участие в конкурса

За участие в конкурса гл.ас. Читанов е представил следните активи: група показатели *B* (*B4*), хабилитационен труд: 10 публикации, излезли в периода 2016-2022 г., (123 точки при изисквани мин. 100 т.), от тях 1 бр. е в квантил Q1, 6 бр. - в Q4 и 5 бр. в списания с ИР; група показатели *Г* (*Г7*): 20 публикации, излезли в периода 2009-2023 г., (295 точки по SCOPUS при мин. 220 т.), от тях 6 бр. в квантил Q2, 7 бр. в Q3 и 7 бр. в списания с ИР. Публикациите са по темата на конкурса. Нямам сведения за плагиатство. Д-р Читанов е първи автор в 4 и втори в 2 публикации по показател *B4* и съответно в 3 и 6 публикации по показател *Г7*. Съгласно приложените мнения на първия автор в публикации B5-10, Г1-11,13-15,17 (съгласно номерацията на кандидата) той има съществен принос: (а) в разработката и изпълнението на технологичните процеси за нанасяне на покрития с разбалансирано магнетронно разпръскване в затворено магнитно поле; (б) в определянето на нанотвърдост, модул на еластичност, адхезионно-кохезионни свойства и коефициент на триене срещу диамантен индентор, термично и корозионно съпротивление и анализа на получените резултати; (в) в нанасяне и електрично характеризиране на омови контакти. Д-р Читанов има една заявка за полезен модел за планетарна система за движение на подложки/образци в апаратура за физично парово отлагане, но тя все още не е публикувана. За участие в конкурса кандидатът е представил списък с 53 независими цитирания (106 т. по показател *Д*). В показател *Е* са включени: ръководство на проект към ФНИ за двустранно сътрудничество с колектив от Австрия за 12000 лв. (*Е17*, 52,4 т.) и спечеления проект за подпомагане на млади учени към МОН за 9000 лв. (*Е14*, 11,8 т.).

Прави отлично впечатление, че (съгласно представени документи за конкурса) някои от разработените с активното участие на д-р В. Читанов слоеве са внедрени в опитното производство на ЦЛПФ и използвани при изпълнение на поръчки: (а) покритие от TiN за нискотемпературни приложения, използвано върху инструменти от берилиев бронз при изпълнение на поръчка на фирма „Милкотроник“, Стара Загора, (б) покритие от CrN-TiN нанесено върху части за медицински импланти, тествани в ортопедиите на МБАКЮЛ „Св. Георги“, Пловдив и МБАЛ, Добрич; (в) покритие от TiAlN приложено върху поансони на фирма Арсенал, Казанлък. Според документите за конкурса д-р Читанов няма конкретна педагогическа дейност, но активно подпомага обучението на докторанти и дипломанти в ЦЛПФ за работа с оборудването в лабораторията, на което той работи.

Основни научни и научно-приложни приноси

Представените за участие в конкурса приноси на глас. В. Читанов са главно в областта на разработване и прилагане на твърди покрития с различен състав и структура като ефективно средство за модифициране на повърхността на материали, използвани в съвременната индустрията и медицина. Постиганията са интересни и важни, защото довеждат до създаване на твърди покрития с подобрени механични и трибологични свойства и са с потенциал за различни приложения. Д-р Читанов има водещо или съществено участие както в разработване на технологиите за нанасяне на покритията, така и в тяхното комплексно характеризирание със съвременни техники.

Изследванията включени в В4 са мотивирани от използването на нискотемпературна инструментална стомана, която изисква нанасяне на покрития при ниски температури, T . За нанасяне на покритията е използвано разбалансирано магнетронно разпръскване в затворено магнитно поле, с което при температури на подложките $T \leq 200^\circ\text{C}$ се получават тънки слоеве с висока плътност, ниска дефектност и малка грапавост.

Основни приноси по показател В4:

- Разработена е технология за отлагане на тройни и четворни покрития на базата на Cr и Ti (CrTiN, TiAlN, Cr-Ti-Al-N) върху стоманени подложки при $T \leq 200^\circ\text{C}$ или без допълнително нагряване. Чрез използване на подходяща комбинация от адхезионен и преходен слой е постигната добра адхезия към подложките. Многокомпонентните покрития са с по-висока нанотвърдост от бинарните TiN и CrN, като при четворните покрития нанотвърдостта е по-висока от тази на тройните. Гладкостта и някои механични свойства са по-добри при покритията, базирани на Cr. (статии с номера В6, Г7). Оптимизацията на състава на четворните покрития води до средна нанотвърдост от 33 GPa и механични свойства сравними с тези на покрития, отложени при температури над 200°C . (В1,В4,В6) Чрез отгряване при 400 до 600°C е постигнато увеличение на нанотвърдостта и модула на еластичност при запазване на добра адхезия и нисък коефициент на триене, което е важно при инструменти, работещи при повишени температури и агресивни условия на работа. Отгряването при по-високи температури води до увеличение на размера на нанокристалите и поява на оксидни фази и променя морфологията и грапавостта на покритието. (В5) Направено е заключение, че покритията от CrTiAlN са подходящи за индустриални приложения, изискващи висока твърдост и устойчивост на пластична деформация, а покритията от CrTiN - при изисквания за висока якост и устойчивост на пукнатини. (Г20)

- Намерени са оптимални условия за отлагане на многослойна структура на базата на TiAlN, започваща с Ti слой, следван от два междинни слоя от TiN с градиентен и стехиометричен състав, градиентен преходен слой от TiAlN и последен слой от TiAlN с постоянен състав, изграден основно от кубична фаза от $(\text{AlTi})\text{N}_2$ с размер на кристалитите 44 nm. Върху високоскоростна и въглеродна инструментална стомана при температури $150-200^\circ\text{C}$ са постигнати много добра адхезия и нанотвърдост от 38 GPa. (В10)

- Създадена е технология за отлагане на многослойни структури от нанокристални слоеве CrN/TiN върху подложки от високоскоростна стомана при $120-200^\circ\text{C}$, предхождани от адхезивен Cr слой и слой от CrN с градиентен състав. (В7-В9) Постигната е нанотвърдост от 32 GPa, която е сравнима с тази на монослой, отложен при $350 - 400^\circ\text{C}$. Многослойното покритие има и много нисък коефициент на триене, подобрена устойчивост на пластична деформация, много добра корозоустойчивост. Предимствата на многослойната структура са свързани с наличието на много интерфейси, които подпомагат разсейването на дефекти и енергия и отклоняват пукнатините. Ниската грапавост на

повърхността на структурите е съществена при медицински имплантите, защото влияе директно върху триенето, а ниският коефициент на триене удължава живота на имплантите и намалява болката на пациентите.

- Разработено е компютърно приложение, включващо шест модела, което позволява да се прогнозира качествата на покрития, изследвани в ЦЛПФ. (B2) Направени са прогнози за нанотвърдостта на тройни и четворни покрития, които са сравнени с експериментални данни. При повечето покрития най-близките прогнози дава използването на метода, използващ Гаусов процесен регресор. Показано е също, че елипсометрични измервания в спектралния диапазон от 50 meV – 5 eV, могат да се използват за изследване на физичните свойства на изследваните покрития. (B3)

В публикациите, включени в показател Г7, с участието на гл.ас. В. Читанов са разработвани: (а) покрития, включващи многослойни структури от периодично повтарящи се нанослоеви (Ti/TiN/TiCrCN/(CrCN/TiCN)_n), Ti/TiN/AlTiSiN/(AlTiSiN/TiAlSiN)_n/AlTiSiN, TiN/CrN); при тях твърдостта не надвишава 30 GPa, но се наблюдава увеличаване на времето на експлоатация и подобряване на качеството на обработка с инструменти с такива покрития и това ги прави интересни за практическо приложение (Г5, Г6, Г8); (б) покрития на базата на многокомпонентни нанокompозити и многослойни градиентни нанокompозити, нанасяни с катодно-дъгово изпарение при температури на подложките над 200°C, разбалансирано магнетронно разпрашване, импулсно лазерно отлагане (Г3), които превъзхождат използваните в практиката покрития на металорежещи инструменти, матрици и др. (Г1,Г2,Г4,Г9); (в) многослойни омови контакти към хетероструктури от GaN/AlGaN/GaN, които са изградени от нанослоеви с различна дебелина, нанасяни с магнетронно разпрашване, електронно-лъчево и термично изпарение. (Г14,Г15,Г17)

Основни приноси по показател Г7:

- Направено е задълбочено изследване на градиентни по състав слоеве от TiAlSiN, отлагани с катодно-дъгово изпарение и на многослойно градиентно нанокompозитно покритие на базата на TiAlSiN състоящо се от градиентни TiAlSiN нанослоеви и нанокompозитни слоеве от TiAlN/SiN (Г10-Г13). Показано е, че градиентните слоеве от TiAlSiN са с отлична адхезия към волфрамовият карбид, който често се използва за режещи инструменти. След подходящо термично третиране нанотвърдостта им достига 48 GPa, а модулът на еластичност - 560 GPa, което е свързано с наличието на фази от AlN и TiN с размер на нанокристалите около 10 nm. Нанокompозитните покрития са по-малко податливи на точкова корозия от покритието от TiN и могат да работят безопасно до 900°C.

- Разработени са нанокompозитни слоеве от AlSiN, нанасяни чрез катодно-дъгово изпарение, които са изградени от нанозърна от (AlSi)_n в матрица от Si₃N₄ (Г4). Слоевете показват подобрена еластична устойчивост на опън, много добра устойчивост на пластична деформация и еластично възстановяване, нисък коефициент на триене, добра износоустойчивост и много висока твърдост (46 GPa). Такива слоеве са включени в създаденото ново нанокompозитно покритие от CrAlSiN-AlSiN с периодично модулиран състав. Постигнат е размер под 10 nm на нанокристалите от CrN и AlN, които са вградени в аморфна матрица от Si₃N₄, поради което покритието показва изключително висока твърдост (до 54 GPa) (Г1, Г2). Модулирането на състава води до голяма еластична устойчивост на повреда и устойчивост на пластична деформация. То запазва комбинацията от свръхтвърдост и устойчивост на еластични напрежения и на пластични деформации до 800 °C и е подходящо за високотемпературни приложения.

- Към хетероструктури от GaN/AlGaIn/GaN са нанасяни многослойни омови контакти на базата на Al (Ti/Al/Ti(Mo)/Au) и контакти, в които Al е заместен с Mo, Ni или Pd (Ti/Mo(Ni,Pd)/Au и Ti/Mo(Ni,Pd)/Ti/Au). (Г14,Г15,Г17) Получена е важна информация за повърхностната им морфология, химичен и фазов състав, тегловно съотношение на слоевете, електрични свойства. При различните контакти са намерени оптимални температури на отгряване за осигуряване на омово поведение и най-ниско съпротивление и е изучено разпределението на елементите в тях и химичния състав на интерфейсите след отгряването. Направено е заключение, че Ti/Mo/Ti/Au и Ti/Ni/Ti/Au контактите са много добра алтернатива на контактите с Al.

Основните научни и научно-приложни приноси може да се отнесат към: (а) създаване на нови технологии за нискотемпературно отлагане на твърди и свръхтвърди покрития; (б) доказване с нови средства на съществени нови страни на вече съществуващи научни проблеми и получаване и доказване на нови и потвърдителни факти (при почти всички изследвания); (в) приноси за внедряване и приложение на научни постижения в практиката (три внедрявания, доказани с документ и разработка на твърди покрития с параметри, надвишаващи сега прилаганите в практиката, заявка за полезен модел).

Бележки и препоръки по представените трудове

Нямам въпроси и съществени критични бележки към публикациите, с които гл.ас. В. Читанов участва в конкурса. Препоръчвам, при публикуване на резултати от елипсометрични измервания по-ясно да се подчертава ползата от тях за изследване на физичните свойства на покритията.

Заклучение

Активите, с които гл.ас.д-р В. Читанов участва в конкурса, надвишават минималните национални изисквания за заемане на академичната длъжност „доцент“, посочени в Правилника към ЗРАС РБ и изискванията на БАН и ИФТТ. Те го представят като активно работещ учен с висока квалификация и със сериозни научни и научно-приложни приноси, който е способен да поставя и ръководи изследователски задачи. Постиженията му са добре познати на международната научна общност, а някои от тях вече са намерили практическо приложение или са близо до такова. Актуалността и значимостта на научните и на научно-приложните постижения ми дават основание да смятам, че д-р Читанов е подходящ за академичната длъжност „доцент“ съгласно обявения конкурс.

Подкрепям кандидатурата на гл.ас. Василий Читанов и препоръчвам на почитаемото Научно жури да предложи на Научния съвет на ИФТТ-БАН гл.ас. д-р Василий Читанов да бъде избран да заеме академичната длъжност „доцент“ в Централната лаборатория по приложна физика към БАН, професионално направление 4.1. „Физически науки“, научна специалност „Физика на кондензираната материя“.

20.10.2023 г.

Подпис:
/проф. дфн Д. Нешева-Славова/

REVIEW

on a procedure for the occupation of the academic position "Associate Professor" in the professional field 4.1. "Physical Sciences", specialty "Condensed Matter Physics" (Multifunctional nanostructured and nanoscale materials and nanotechnologies for mechatronics and medicine) according to the announcement of the Central Laboratory of Applied Physics (CLAP) - Bulgarian Academy of Sciences (BAS) in the State Gazette, issue 52/16.06.23.

Candidate: Vasilliy Atanasov Chitanov, Ph.D., Research Assist. Prof. at CLAP - BAS

Reviewer: Dianka Dimitrova Nesheva-Slavova, Dr.Sci., Professor at Institute of Solid State Physics (ISSP)-BAS

Dr. Vasiliy Atanasov Chitanov is one of the candidates for the competition for the academic position "Associate Professor" (two positions) in the professional field 4.1. "Physical Sciences", specialty "Condensed Matter Physics" announced by CLAP – BAS (SG No. 52 of 16.06.2023). He has submitted all the required materials for participation in the competition, which are very well arranged and described.

General characteristics of the candidate according to the submitted materials

Dr. Chitanov graduated from Technical University (TU), Sofia, Plovdiv branch - in 2000 as a "master engineer in automation and systems engineering" and in 2004 as a "master engineer in computer systems and technologies". In March 2023, Dr. Chitanov also graduated from Plovdiv University "P. Hilendarski" as a "master engineer-physicist", specialty "Physics of Condensed Matter". In the period 2003-2007, he was a doctoral student at TU, Sofia, Plovdiv branch, and in 2008 he obtained the PhD degree, specialty 02.21.02 "Elements and devices of automation and computing technique", after defending a dissertation on the topic "Algorithms with neural-fuzzy model predictive control of a polymerization reactor". In the periods 2007-2009 and 2009-2011, he was a computer engineer and research assistant (2nd degree,) respectively, and since 2011 until now he has been "assistant professor" at CLAP. Since February 2022, he has been the head of the "Technology and Characterization of Thin Layers" group at CLAP. Also responsible for the technical support of the clean room and its equipment (nanoindentation, microindentation/scratch test, calorimeter, tribometer), the CLAP's website, and public relations.

Dr. Chitanov has studied and specialized abroad eight times, including a Summer School at TU in Brno, Czech Republic (2000), a one-year doctoral scholarship under the Erasmus program at the Aristotle University of Thessaloniki, Greece (2005-2006), a three-month doctoral specialization at TU, Prague (2007). In 2018 and 2022, he completed two training courses under the Erasmus program at the Department of Surface Analysis of the Johannes Kepler University of Linz, Austria, which were dedicated to the application of a number of modern techniques for material processing and characterization (applications of focused ion beams, Raman scattering, scanning and transmission electron microscopy, atomic force microscopy, Auger electron spectroscopy, ultraviolet and infrared ellipsometry and modeling and analysis of ellipsometric results). All this helped him to become a highly qualified researcher. He works on various state-of-the-art equipment at the CLAP, as well as he has the skills to work with a variety of vacuum equipment that are important for the investigations at CLAP.

Dr. Chitanov is co-author of a total of 43 scientific publications, of which 31 are in journals with an impact factor (IF) or impact rank (SJR) and 33 presentations at conferences, 20 of them international. The publications have 73 independent citations, Hirsch index 4 (SCOPUS). He managed a bilateral project for the Bulgarian Scientific Research Fund with a team from Austria, he won a project to support young scientists under the "Science and Business" program at the Ministry of Education and Culture and studied at the Fraunhofer Institute in Chemnitz, Germany, and has participated in 9 more scientific projects (under the program for the Competitiveness of the Bulgarian economy, Center for Competence and Center for Excellence in OPNOIR, Inframat project, etc.) implemented at CLAP.

Research and development achievements submitted for participation in the competition

For participation in the competition, Dr. Chitanov presented the following assets: group of indicators *B*(*B4*), habilitation work: 10 papers published in the period 2016-2022, (123 points at required min. of 100 points), of which one publication in quartile Q1, 6 - in Q4 and 5 - in journals with SJR; group of indicators *G* (*G7*), 20 publications in the period 2009-2023, (295 SCOPUS points at min. 220 items), of which 6 in Q2, 7 in Q3 and 7 in journals with SJR. The publications are on the topic of the competition. I have no record of plagiarism. Dr. Chitanov is the first author in 4 and second author in 2 publications under indicator *B4*, and respectively in 3 and 6 publications under indicator *G7*. According to the attached opinions of the first author in publications B5-10, D1-11,13-15,17 (according to the numbering of the candidate), he made a significant contribution: (a) in the development and implementation of the technological processes for applying coatings with unbalanced magnetron sputtering in a closed magnetic field; (b) in the determination of nanohardness, modulus of elasticity, adhesion-cohesion properties of the layers and coefficient of friction against a diamond indenter, thermal and corrosion resistance and the analysis of the obtained results; (c) in deposition and electrical characterization of ohmic contacts. Dr. Chitanov has a patent application for a model for a planetary system for substrate/sample movement in a physical vapor deposition equipment, but it has not yet been published. To participate in the competition, the candidate submitted a list of 53 independent citations (106 point according to indicator *D*). Indicator *E* includes: management of the project for bilateral cooperation with a team from Austria for BGN 12,000 (*E17*, 52,4 points) and the project to support young scientists at the Ministry of Education and Science for BGN 9,000 (*E14*, 11,8 points). It makes an excellent impression that (according to the submitted documents for the competition) some of the layers developed with the active participation of Dr. V. Chitanov were implemented in the trial production of the CLAP and used in the execution of orders of various companies: (a) TiN coating on beryllium bronze instruments for low-temperature applications, an order by the company "Milkotronic", Stara Zagora, (b) CrN-TiN coating applied to parts for medical implants, tested in two hospitals "St. Georgi", Plovdiv and the hospital in Dobrich; (c) TiAlN coating applied on punches of Arsenal Kazanlak. According to the documents for the competition, Dr. Chitanov does not have a specific pedagogical activity, but he actively supports the introduction and training of doctoral students and graduates at CLAP in working with equipment in the laboratory.

Main research and development contributions

The achievements of V. Chitanov are mainly in the field of development and application of solid coatings with different composition and structure as an effective tool of modifying the surface of materials used in modern industry and medicine. The achievements are interesting and

important because they lead to the creation of hard coatings with improved mechanical and tribological properties and have the potential for various applications. Dr. Chitanov has a leading role or significant participation both in developing the technologies for applying the coatings and in their complex characterization with modern techniques.

The research included in B4 is motivated by the use of low-temperature tool steel, which requires the application of coatings at low temperatures, T . Unbalanced magnetron sputtering in a closed magnetic field is used to apply the coatings, which at substrate temperatures $T \leq 200^\circ\text{C}$ produces thin layers with high density, low defectivity and low roughness.

Main contributions under indicator B4:

- A technology is developed for the deposition of triple and quaternary coatings based on Cr and Ti (CrTiN, TiAlN, Cr-Ti-Al-N) on steel substrates without additional heating or at $T \leq 200^\circ\text{C}$. By using a suitable combination of adhesive and transition layer, good adhesion to the substrates is achieved. The multicomponent coatings have higher nanohardness than binary TiN and CrN, with quaternary coatings having higher nanohardness than ternary ones. Smoothness and some mechanical properties are better with Cr-based coatings. (articles B6, G7). Optimization of the composition of the quaternary coatings results in an average nanohardness of 33 GPa and mechanical comparable to those of coatings deposited at temperatures above 200°C . (B1,B4,B6) By annealing at 400 to 600°C , an increase in nanohardness and modulus of elasticity is achieved while maintaining good adhesion and a low coefficient of friction. The results are important for tools operating at elevated temperatures and in aggressive working environments. Annealing at higher temperatures changes the roughness and morphology of the coatings due to an increase in the size of the nanocrystals and the appearance of oxide phases. (B5) It is concluded that CrTiAlN coatings are suitable for industrial applications that require high hardness and resistance to plastic deformation, while CrTiN coatings - when there are requirements of high strength and crack resistance. (G20)

- Optimal conditions are found for the deposition of a TiAlN based multilayer structure, starting with a Ti layer, followed by two interlayers of TiN with a gradient and stoichiometric composition, a gradient transition layer of TiAlN and a final layer of TiAlN with a constant composition that is composed primarily of a cubic phase of $(\text{AlTi})\text{N}_2$ with a crystallite size of 44 nm. When deposited on high-speed steel and carbon tool steel at temperatures in the range $150\text{--}200^\circ\text{C}$, very good adhesion and nanohardness of 38 GPa are achieved. (B10)

- A technology is developed for the deposition of multilayer structures of nanocrystalline CrN/TiN layers on substrates from high-speed steel at $120\text{--}200^\circ\text{C}$, covered by an adhesive Cr layer and a layer of CrN with a gradient composition. (B7-B9) A nanohardness of 32 GPa is achieved, which is comparable to that of a monolayer deposited at $350\text{--}400^\circ\text{C}$. The multilayer coating has a very low coefficient of friction, improved resistance to plastic deformation, very good corrosion resistance. The advantages of the multilayer structure are related to the presence of many interfaces, which help dissipate defects and energy, and deflect cracks. The low roughness of the surface of the structures is essential in medical implants because it directly affects the friction, and the low coefficient of friction prolongs the life of the implants and reduces the pain of the patients.

- A computer application is developed, including six models, which allows to predict the qualities of the coatings studied in the CLAP. (B2) Predictions are made for the nanohardness of triple and quaternary coatings, which are compared with experimental data. For most coatings, the usage of Gaussian process regression gives the closest predictions. It is also demonstrated

that ellipsometric measurements in the spectral range of 50 meV – 5 eV can be applied to investigate physical properties of the investigated coatings. (B3)

In the publications included in indicator G7, Dr. V. Chitanov has contribution in development of: (a) coatings including multilayer structures of periodically repeating nanolayers (TiN/CrN, Ti/TiN/TiCrCN/(CrCN/TiCN)_n) and Ti/TiN/AlTiSiN/(AlTiSiN/TiAlSiN)_n/AlTiSiN; their hardness does not exceed 30 GPa, but a lifetime increase and an improvement in the quality of processing with tools with such coatings is observed, which makes them interesting for practical application (G5,G6,G8); (b) coatings based on multicomponent nanocomposites and multilayer gradient nanocomposites, deposited at substrate temperatures above 200°C with cathodic arc evaporation, unbalanced magnetron sputtering, pulsed laser deposition (G3); they are superior to the coatings used in practice on metal cutting tools, dies, etc. (G1-G2,G4,G9); (c) multilayer ohmic contacts to GaN/AlGaN/GaN heterostructures, which consist of metal nanolayers of different thickness deposited by magnetron sputtering, electron beam and thermal evaporation. (G14,G15,G17)

Main contributions under indicator G7:

- An in-depth study is made of compositionally gradient layers of TiAlSiN deposited by cathodic arc evaporation, as well as of a multilayer gradient nanocomposite coating based on TiAlSiN and consisting of gradient TiAlSiN nanolayers and nanocomposite layers of TiAlN/SiN (G10-G13). It is shown gradient layers of TiAlSiN have excellent adhesion to cemented tungsten carbide, frequently used for cutting tools. After appropriate thermal treatment, their nanohardness reaches 48 GPa, and the modulus of elasticity - 560 GPa, which is related to the presence of AlN and TiN phases with a nanocrystal size of about 10 nm. Nanocomposite coatings are less prone to pitting than TiN coating and can operate safely up to 900 C.

- It is shown that TiAlSiN gradient layers have excellent adhesion to cemented tungsten carbide that is commonly used for cutting tools. After appropriate heat treatment of these layers, their elastic modulus and nanohardness reached 560 GPa and 48 GPa, respectively. This is related to the presence of AlN and TiN phases with a nanocrystal size of about 10 nm. Nanocomposite coatings can be safely operated up to 900°C as they oxidize more slowly and are less prone to pitting than the TiN coating.

- Nanocomposite layers of AlSiN deposited by cathodic arc evaporation are developed. They show improved elastic tensile strength, very good resistance to plastic deformation and elastic recovery, low coefficient of friction, good wear resistance and very high hardness (46 GPa), related to their microstructure; the nanocomposites consist of (AlSi)_n nanograins embedded in an amorphous matrix of Si₃N₄ (G4). Such layers are included in the newly created CrAlSiN-AlSiN nanocomposite coating with periodically modulated composition. In these nanocomposites size below 10 nm of the CrN and AlN nanocrystals embedded in the amorphous matrix of Si₃N₄ is achieved that results in an extremely high hardness of the coatings (up to 54 GPa) (G1, G2). Modulation of the composition results in high elastic resistance to damage and resistance to plastic deformation. The coatings retain the combination of superhardness and resistance to elastic stresses and plastic deformations up to 800 °C and are suitable for high temperature applications.

- Multilayer ohmic contacts are applied to GaN/AlGaN/GaN heterostructures which contain Al (Ti/Al/Ti(Mo)/Au) or the aluminum is replaced by Mo, Ni or Pd (Ti/ Mo(Ni,Pd)/Au and Ti/Mo(Ni,Pd)/Ti/Au). (D14,D15,D17) Important knowledge is obtained about their surface morphology, chemical and phase composition, weight ratio of the layers, electrical properties.

Optimum annealing temperatures to ensure ohmic behavior and lowest resistance are found for the contacts, together with valuable information about the elemental distribution in the films and at the interfaces after annealing. It is concluded that Ti/Mo/Ti/Au and Ti/Ni/Ti/Au contacts are very good alternatives to Al contacts.

The main research and development contributions of Dr. V. Chitanov can be regarded as: (a) creation of new technologies for low-temperature deposition of hard and superhard coatings; (b) proving by new means essential new aspects of already existing scientific problems and obtaining of new and confirmatory facts (in all research); (c) contributions to implementation and application of scientific achievements in practice (three practical applications proven by documents and development of solid coatings with parameters exceeding those currently applied in practice, a patent application).

Notes and recommendations

I have no questions and no essential critical remarks to the publications of Dr. V. Chitanov participating in the competition. I recommend that when publishing results from ellipsometric measurements, their usefulness for studying the physical properties of coatings should be more clearly emphasized.

Conclusion

The assets submitted by Dr. V. Chitanov for the competition exceed the minimum national requirements for occupying the academic position of "Associate Professor", specified in the Regulations to the Law on the development of the academic staff and the related requirements of BAS and ISSP-BAS. They describe him as an actively working scientist with high qualification and serious scientific and practical contributions who is capable of setting and directing research tasks. His achievements are well known to the international scientific community, and some of them have already found practical application or are close to it. This gives me reason to believe that Dr. Chitanov is suitable for the academic position of "Associate Professor" according to the announced competition.

I support the candidacy of Dr. Vasiliy Chitanov and recommend to the honorable Scientific Jury to propose to the Scientific Council of ISSP Dr. Vasiliy Chitanov to be elected to the academic position of "Associate Professor" in the Central Laboratory of Applied Physics at the Bulgarian Academy of Sciences, professional direction 4.1. "Physical Sciences", scientific specialty "Physics of Condensed Matter".

20.10.2023

Signature:
/Prof. Dr.Sci. D. Nesheva-Slavova/