



## ОТЗЫВ

### Зарубежного научного консультанта

На диссертационную работу “Создание новых композитных материалов на основе алмазоподобных углеродных пленок модифицированных наночастицами палладия”  
**ӘСЕМБАЕВА ӘЛИЯ РЫСХАЛЫҚҚЫЗЫ,**  
представленную на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000 –  
Наноматериалы и нанотехнологии

Диссертационная работа А. Р. Асембаевой посвящена актуальной и интересной тематике – синтезу и исследованию свойств наноструктурированных аморфных алмазоподобных углеродных пленок (DLC), модифицированных наночастицами палладия (a-C<Pd>) синтезированных методом ионно – плазменного со-распыления. В данной работе исследованы структурные особенности и электронные процессы в (a-C<Pd>) пленках.

Цель данной диссертационной работы заключается в разработке научных и технологических основ синтеза композитных аморфных DLC материалов с изолированными наночастицами палладия, для выявления новых свойств и создания новых материалов многоцелевого назначения.

**Актуальность работы.** Аморфные алмазоподобные углеродные (DLC a-C) пленки находят все более широкое применение в различных областях науки и промышленности. Уникальные физические, механические и трибоэлектрические свойства DLC a-C делают их интересными в различных новых применениях. Например, тонкие аморфные пленки DLC широко используются в качестве защитных покрытий благодаря своим уникальным антифрикционным свойствам, высокой твердости и химической инертностью к агрессивным средам. Способом улучшения и изменения характеристик плёнок DLC, является их модификация разными элементами. Путем добавления металлов или неметаллических элементов, например, кремний, кислород, фтор или другие, можно изменить свойства материала в соответствии с требованиями конкретного применения.

Данная работа посвящена изучению модификации DLC a-C плёнок палладием (группа платиноидов).

**Научная ценность и новизна проведенных исследований** связана с тем, что диссертационная работа посвящена синтезу и исследованию мало изученной модификации аморфных DLC плёнок палладием. Композитные пленки с изолированными наночастицами палладия в аморфной DLC углеродной матрице были

синтезированы впервые. Было установлено, что путем управления режимами и параметрами синтеза, а также проведением примесной модификации, можно получать пленки DLC a-C с различной степенью гибридизации связей (C-C связей). Кроме того, исследования показали, что модификация пленок атомами палладия приводит к нелинейным изменениям ширины запрещенной зоны в широком диапазоне. Также был выявлен перколяционный механизм проводимости в пленках DLC a-C с примесью палладия.

**Основные задачи исследований.** Для реализации данной цели диссертационной работы были решены следующие задачи:

1. была отработана технология синтеза DLC пленок с различной степенью гибридизации углеродных связей, при том были найдены оптимальные параметры режима синтеза методом магнетронного ионно – плазменного распыления для проведения структурно – примесной модификации, пленок с использованием комбинированной мишени.
2. были изучены структурные особенности тонких наноструктурированных DLC пленок a-C<Pd> в зависимости от концентрации палладия (синтезированных на постоянном токе и при различных значениях мощности ионно-плазменного разряда);
3. также исследованы оптические свойства нанокompозитных алмазоподобных a-C<Pd> пленок (синтезированных при различных значениях мощности ионно – плазменного разряда), определены влияния концентрации палладия на изменение значений оптических констант и ширину запрещенной зоны a-C<Pd> пленок;
4. исследованы электрические свойства тонких наноструктурированных a-C<Pd> пленок в зависимости от концентрации палладия и мощности ионно – плазменного разряда;
5. изучение влияния отрицательного потенциала смещения на формирование структуры и свойства, тонких алмазоподобных a-C<Pd> пленок.

**Результаты диссертационного исследования и практическая значимость.** Проведенные научные исследования дали положительные результаты. В работе синтезирован инновационный композитный материал - тонкие аморфные алмазоподобные углеродные пленки a-C<Pd>, состоящий из матрицы с гибридизованными связями  $sp^3/sp^2$  и изолированных наночастиц палладия. Этот материал сочетает в себе преимущества аморфного углерода, проявляющего алмазоподобные свойства, и присутствия палладия, что открывает новые перспективы для различных приложений. Установлено, что наночастицы палладия влияют на формирование связей углерода и увеличивают количество  $sp^2$  узлов, и при концентрациях более 1 ат.% структура пленки переходит в графитоподобную фазу. Также установлено, что модифицирование палладием приводит к существенному изменению оптических спектров пропускания. Оптическая ширина запрещенной зоны синтезируемых пленок a-C<Pd> уменьшается в широком диапазоне, и это изменение зависит от условий синтеза. Это уменьшение оптической ширины запрещенной зоны подтверждает переход от структуры, близкой к аморфному алмазу, к структуре, близкой к аморфному графиту (графитоподобной структуре). Таким образом, изменение структуры пленок от алмазоподобной к графитоподобной влияет на оптические свойства материала и его потенциальные приложения. Так же исследовано как эффективно управлять электрическими свойствами аморфных алмазоподобных углеродных пленок, модифицированных нанокластерами палладия, путем изменения концентрации палладия и условий синтеза. Таким образом, электрические свойства аморфных алмазоподобных углеродных пленок, модифицированных нанокластерами

палладия, могут быть тщательно настроены и оптимизированы в зависимости от требуемых характеристик и применений материала в будущих применениях.

Диссертация, разработанная докторантом А.Р. Асембаевой, отвечает высоким научным стандартам. Диссертант проделала большую работу, лично проводила эксперименты по синтезу нанокompозитных пленок, а также и другие исследования. Полученные результаты обладают как научной, так и практической новизной, и предоставляют широкие возможности для применения в дальнейших исследованиях и разработках в различных областях, включая фотонику, разработку сенсоров и другие сферы. Эти результаты могут быть использованы для создания новых технологий, улучшения существующих систем и развития новых приложений. Работа А.Р.Асембаевой имеет потенциал для внесения значительного вклада в научное сообщество и практическое применение ее результатов.

По результатам диссертационной работы было опубликовано 16 печатных работ, в том числе 4 статьи в международных рецензируемых научных журналах, входящих в Q1, Q2 и Q3 квартили, по данным Journal Citation Reports компании Clarivate Analytics и/или имеющие CiteScore показатель процентиля в базе данных Scopus, 3 статьи в журналах, рекомендованных КОКСНВО, 9 работ в сборниках трудов научно - практических международных конференции. Опубликованные работы полностью соответствуют теме диссертации.

Очень важно, что Алия Асембаева является корреспондирующим автором в нескольких публикациях. Это свидетельствует о ее активном участии в исследовательской работе и значимости ее вклада. Кроме того, тот факт, что некоторые из статей были опубликованы в журналах с высоким рейтингом (Q1, Q2), подчеркивает значимость ее исследований и их признание в научном сообществе.

Диссертационная работа, подготовленная Асембаевой А.Р., отвечает всем требованиям Комитета по контролю в области образования и науки МОН РК и рекомендуется к присуждению ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000 – Наноматериалы и нанотехнологии.

Научный консультант  
Доктор PhD Проф. Ревалде Г.В.  
Институт Технической физики  
Рижский технический университет,  
Рига, Латвия  
e-mail: Gita.Revalde@rtu.lv  
Phone:+37129353247



6D074000-«Наноматериалдар және нанотехнологиялар» мамандығы бойынша PhD  
философия докторы дәрежесін алу үшін ұсынылған

**«Палладий нанобөлшектерімен модификацияланған алмазтекес көміртекті  
қабыршақтар негізіндегі жаңа композитті материалдарды жасау»**

тақырыбы бойынша орындалған

**ӘСЕМБАЕВА ӘЛИЯ РЫСХАЛЫҚҚЫЗЫНЫҢ**

диссертациялық жұмысына шет елдік ғылыми кеңесшінің

## **ШКІРІ**

Ә.Р. Әсембаеваның диссертациялық жұмысы магнетронды ионды-плазмалық тозаңдандыру әдісімен синтезделген, нақұрылымдалған палладий нанобөлшектерімен модификацияланған алмазтекес (DLC) аморфты қабыршақтарын (a-C<Pd>) синтездеу және олардың қасиеттерін зерттеуге бағытталған өзекті тақырыпқа арналған. Аталған жұмыста a-C<Pd> қабыршақтарының құрылымдық ерекшеліктері мен қабыршақтардағы электрондық процесстер зерттелген.

Берілген жұмысты орындау мақсаты - көпмақсатта қолданысқа ие болатын жаңа материалдарды жасау және жаңа қасиеттерді анықтау үшін, палладийдің оқшауланған нанобөлшектерімен модификацияланған композитті аморфты алмазтекес көміртекті қабыршақтарды синтездеудің технологиялық және ғылыми негіздерін жасау.

**Жұмыстың өзектілігі.** Аморфты алмазтекес қабыршақтар (DLC a-C) ғылым мен өнеркәсіптің әртүрлі салаларында кеңінен қолданысқа ие болуда. DLC a-C қабыршақтарының бірегей физикалық, механикалық және трибологиялық қасиеттері оларды жаңа бағыттарда қолдануға мүмкіндіктер тудырады. Мысалы, аталған аморфты DLC қабыршақтар жоғары антифрикциялық қасиеттерге, жоғары қаттылық пен агрессивті орталарға химиялық инерттілікке ие болуына орай қорғаныш жабындылары ретінде кеңінен қолданыс тапқан. DLC қабыршақтарының қасиеттерін жоғарылатудың әдісі ретінде оларды әртүрлі элементтермен модификациялау қолданылады. Металл немесе металл емес, мысалы, кремний, оттегі, фтор және т.б. элементтерді қосу арқылы алынған материалдың қасиеттерін, қолдану аясы бойынша қойылатын талаптарға сай болатындай өзгертуге мүмкіндіктер туады.

Берілген жұмыс DLC a-C қабыршақтарын палладиймен (платиноид) модификациялау тақырыбына арналған.

**Жүргізілген зерттеулердің ғылыми жаңалығы мен құндылығы** қазіргі уақытқа дейін аз зерттелген аморфты DLC қабыршақтарын палладиймен модификациялауды зерттеуге арналғандығымен байланыстыруға болады. Аморфты DLC көміртекті матрицасында оқшауланған палладий нанобөлшектері бар композитті қабыршақтар алғаш рет синтезделген. Жұмыс барысында синтездеу шарттары мен режимдерін басқару арқылы, сонымен қоса қоспалы модификация жүргізу арқылы құрылымында C-C байланыстарының әртүрлі гибридтелу дәрежесіне ие DLC a-C қабыршақтарын алуға болатындығы көрсетілген.

**Зерттеуді орындаудағы негізгі қойылған тапсырмалар.** Диссертациялық жұмыстың қойылған мақсатына қол жеткізу үшін мынандай тапсырмалар орындалған:

1. көміртекті байланыстардың әртүрлі гибридтелу дәрежесіне ие алмазтекес көміртекті қабыршақтарын синтездеу технологиясын жасау және меңгеру, қабыршақтардың магнетронды ионды-плазмалық әдіс арқылы құрылымдық – қоспалы модификациясын жүргізуінің тиімді параметрлері мен режимдері анықталған.

2. тұрақты тоқта және ионды-плазмалық разряд қуатының әртүрлі мәндерінде синтезделген жұқа нанокұрылымдалған алмазтекес a-C<Pd> көміртекті

қабыршақтарының құрылымдық ерекшеліктерінің палладий концентрациясына тәуелділігін зерттелген.

3. ионды-плазмалық разряды қуатының әртүрлі мәндерінде синтезделген нанокөмірді алмаз тектес  $a-C<Pd>$  қабыршақтарының оптикалық қасиеттерін зерттеу, палладий концентрациясының  $a-C<Pd>$  қабыршақтарының оптикалық константаларының және тыйым салынған зонасының еніне әсері анықталған.

4. нанокұрылымдалған алмаз тектес  $a-C<Pd>$  қабыршақтарының электрлік қасиеттерінің палладий концентрациясы мен ионды-плазмалық разряды қуатына тәуелділігін зерттелген.

5. ығысу кернеуінің жұқа алмаз тектес  $a-C<Pd>$  қабыршақтарының құрылымының түзілуі мен қасиеттеріне әсерін анықталған.

**Диссертациялық жұмыстың зерттеулерінің нәтижелері және практикалық маңыздылығы.** Жүргізілген ғылыми зерттеулер оң нәтижелер көрсеткен. Жұмыс барысында  $sp^3/sp^2$  гибридтелген түйіндерге ие матрицадан және оқшауланған палладий нанобөлшектерінен тұратын инновациялық композитті материалдар синтезделген. Бұл материал өз бойына палладий нанобөлшектері қатысында әртүрлі қосымшаларда қолданудың жаңа перспективаларын ашатын аморфты көміртегінің алмаз тектес қасиеттері мен артықшылықтарын жинаған. Жұмыс барысында палладий нанобөлшектері көміртегі байланыстарының түзілуіне әсерін тигізетіндігі және  $sp^2$  түйіндерінің мөлшерін арттыратындығы, палладий концентрациясының 1 ат.%-дан жоғары мәндерінде қабыршақтардың құрылымы графит тектес фазаға ауысатындығы анықталған. Сонымен қатар, палладиймен модификациялау оптикалық өткізу спектрлерінің едәуір өзгеруіне алып келетіндігі анықталған. Синтезделген  $a-C<Pd>$  қабыршақтарының оптикалық тыйым салынған зонасының ені кең диапазонда төмендейтіндігі және аталған өзгерістердің синтездеу шарттарына тәуелді болатындығы көрсетілген. Тыйым салынған зона енінің осындай төмендеуі құрылымның алмаз тектес фазаға ұқсас құрылымнан графит тектес құрылымға ие фазаға ауысқанын растайды. Осылайша, қабыршақ құрылымының алмаз тектестен графит тектес құрылымға өзгеруі олардың оптикалық қасиеттерінің өзгеруіне әсерін тигізіп, аталған материалдардың потенциалды қолданыс аясын кеңейтеді. Сонымен қоса, палладиймен модификацияланған аморфты алмаз тектес қабыршақтардың электрлік қасиеттерін палладий концентрациясын және синтездеу шарттарын өзгерту арқылы қалай басқаруға болатындығы зерттелген. Нәтижесінде палладийдің нанокластерлерімен модификацияланған алмаз тектес аморфты қабыршақтардың электрлік қасиеттері аталған материалдарды қолданатын саланың талаптарына сай оңтайландыруға болатындығы келтірілген.

Докторант Ә.Р. Әсембаева жазған диссертациясы жоғары ғылыми стандарттарға сай келеді. Диссертант нанокөмірді қабыршақтардың синтезін және басқа да зерттеулерді өзі жүргізіп, жазу барысында маңызды жұмыс орындап шықты. Алынған нәтижелер жоғары ғылыми және практикалық маңызға ие, сонымен қоса, аталған материалдарды одан кейінгі зерттеулерде, фотоника, сенсорларды жасау және т.б. салаларда қолдануда үлкен мүмкіндіктер ашады. Алынған нәтижелер жаңа технологияларды жасауда қолданыстағы жүйелерді жақсартуда және жаңа қондырғылар жасауда қолданыс таба алады. Ә.Р. Әсембаеваның жұмысы ғылыми қоғамдастыққа үлкен үлес қосуға және нәтижелердің практикалық қолданысқа енгізуге потенциалы жоғары.

Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша 16 баспалық жұмыс, соның ішінде, жоғары көрсеткіштерге ие халықаралық Clarivate Analytics компаниясының Journal Citation Reports деректемесінде және Scopus базасында CiteScore көрсеткіштік процентіліне ие бірінші, екінші және үшінші квантильдеріне кіретін журналдарда 4

мақала, өзге де журналдарда 3 ғылыми еңбек және халықаралық ғылыми – практикалық конференциялардың жинақтарында 9 ғылыми жұмыс жарияланған.

Аталған жарияланымдарда Әсембаева Әлияның бірнеше жарияланымның корресподент-авторы екені өте үлкен маңыздылыққа ие. Бұл автордың зерттеу жұмыстарына жоғары белсенділікпен қатысатындығын және оның қосқан үлесінің жоғарылығын көрсетеді. Сонымен қатар, бірнеше жарияланымның жоғары рейтингті (Q1, Q2) журналдарда басылып шығарылуы, жүргізілген зерттеулердің маңыздылығын және ғылыми қауымдастықта бағланатындығын көрсетеді.

Ә.Р. Әсембаеваның диссертациялық жұмысы ҚР Ғылым және Жоғары Білім министрлігінің Білім және ғылым саласындағы бақылау және аттестация комитетінің «Ғылыми дәрежелерді тағайындау ережесі» бойынша қойылған талаптарға толықтай сай келеді және 6D074000-«Наноматериалдар және нанотехнологиялар» мамандығы бойынша PhD философия докторы дәрежесін беруге қолдаймын.

Ғылыми кеңесші:

Рига Техникалық университеті

Техникалық физика институты

профессоры, PhD доктор

Ревалде Г.В

Рига, Латвия

e-mail: [Gita.Revalde@rtu.lv](mailto:Gita.Revalde@rtu.lv)

Phone:+37129353247



СМОТРИ  
НА ОБОРОТЕ

Перевод документа с русского языка на казахский язык выполнен переводчиком Мукановой Розой Ахметовной города Алматы, Республики Казахстан шестое ноября две тысячи двадцать третьего года.

Подпись:

*Р. Муканова Роза Ахметовна*

Республика Казахстан, город Алматы

Шестое ноября, две тысячи двадцать третьего года.

Я, Попова Вера Григорьевна, Нотариус города Алматы, действующий на основании государственной лицензии № 0000202 от двадцатого сентября, две тысячи пятого года, выданной Комитетом по организации правовой помощи и оказанию юридических услуг населению Министерства Юстиции Республики Казахстан, свидетельствую подлинность подписи переводчика Мукановой Розы Ахметовны. Личность переводчика установлена, дееспособность и полномочия проверены.

Зарегистрировано в реестре: 1233

Оплачено:

Нотариус Подпись



Пронумеровано и прошнуровано  
на 1 листе  
Нотариус  
Попова В.Г.



ET6002811231106141536P296947

Нотариаттық іс-әрекеттің бірегей нөмірі / Уникальный номер нотариального действия