

## ХАБИЛИТАЦИОННА СПРАВКА

на ас. д-р Геновева Атанасова,  
представена за участие в конкурс за заемане на академичната длъжност „доцент”, по професионално направление 4.2 „Химически науки” и научна специалност „Химия на твърдо тяло”, обявен в ДВ бр. 36 от 03.05.2019 г.

Научните изследвания, представени за участие в конкурса в раздел Хабилитационен труд, са обединени от идеята за изследване на металоксидни слоеве с потенциално приложение в областта на сензорите.

Газовите сензори намират изключително широко приложение в различни научни и приложни области като медицинската диагностика, военните и промишлените разработки, безопасността на храните, в мониторинга и контрола на вредните газови емисии в околната среда и др. Изискванията към съвременните газови сензори са много: висока чувствителност и селективност към газовите компоненти, бързодействие, стабилност, ниска цена, надеждност и устойчивост на температурни и електромагнитни въздействия и много други.

През последните няколко десетилетия разработването на металоксидни полупроводникови газови сензори е от голям интерес, поради тяхната химична стабилност, ниска цена, лесен синтез, компактни размери и ниска консумация на енергия. Като материали за газови сензори намират широко приложение следните полупроводниковите метални оксиди:  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  и много други. За синтезирането на метални оксиди могат да се използват различни химични и физични методи: спрей пиролиза, зол-гел метод, хидротермален метод, термично вакуумно изпарение, електронно лъчево изпарение, магнетронно разпрашване, молекулна епитаксия, импулсно лазерно отлагане (PLD), химично изпарение от газова фаза (CVD) и др. С цел да се разработят технологии за производството на газови сензори, отговарящи на изискванията за промишлено производство и приложение, се провеждат многобройни изследвания върху получаването и охарактеризирането на металоксидни слоеве.

Основните проблеми на съществуващите газови сензори са ниската им чувствителност, селективност и недостатъчната им стабилност. В последните научни изследвания и съответните публикации е показано, че използването на наноструктури от метални оксиди води до решаване в голяма степен на тези проблеми. Наноструктурите се характеризират с голямо съотношение повърхност/обем и

съответно голям брой адсорбционни центрове на повърхността на сензорния слой, което води до подобряване на повърхностната реакционна кинетика. Сензорите, базирани на наноструктури, имат по-висока чувствителност, по-ниска работна температура и бърза реакция към детектирания газ.

От изброените по-горе ( $\text{SnO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ) полупроводниковите метални оксиди с приложение в газови сензори, цинковият оксид ( $\text{ZnO}$ ) е един от най-обещаващите и надеждни многофункционални полупроводникови материали, поради специфичните си свойства, като оптималната проводимост, ниска токсичност, отлична химична и термична стабилност, възможност за синтезиране на разнообразие от наноструктури и не на последно място ниската му цена. Освен като газов сензор  $\text{ZnO}$  се използва и за различни други приложения, като например фотокатализатори, оптоелектронни устройства, суперкондензатори, запаметяващи устройства, ултравиолетови фотодетектори, LED, соларни клетки и др.

От основно значение за създаването на подходящи слоеве с приложение като сензорни елементи е да се получат данни за морфологията; формираните фази и структури; формата и структурата на дотиращите частици; химичния състав, оксидното състояние и стехиометрията на повърхността, което определя поведението им като сензорни слоеве. За охарактеризиране на слоевете се използва съчетание на различни методи за анализ (SEM, XPS, XRD, TEM, газови тестове и др.). Тъй като реакциите се осъществяват на повърхността на сензорните елементи, Рентгеновата фотоелектронна спектроскопия (XPS) е най-подходящият метод за установяване на химичния състав, оксидното състояние и стехиометрията на повърхността на изследваните образци. Чрез охарактеризиране на синтезираните образци се определят оптималните параметри за нови и ефективни технологии за промишлено производство на сензорни слоеве.

Основните научни приноси са в областта на охарактеризиране на метал/металоксидни наноструктури с приложение в областта на газовите сензори.

- *Охарактеризирани са тънки филми от  $\text{SnO}_2$ , отложени чрез радиочестотно разпрашване (публикация В.4.1.).*

Резултатите от изследване на тънки слоеве от  $\text{SnO}_2$ , отложени чрез радиочестотно разпрашване с евентуално приложение в газови сензори, са публикувани в статия В.4.1. Изследванията, използвани за охарактеризиране на образците, показват, че са получени тънки филми от  $\text{SnO}_2$  с кристална структура и размер в областта на субмикронните

частици от 200 nm. Електронната структура на повърхността на филма е изяснена посредством XPS чрез анализ на фотоелектронните спектри на вътрешните нива и на валентната зона на Sn. Значителна промяна във валентната зона се наблюдава при частична редукция чрез бомбардиране с  $\text{Ag}^+$  йони, което води до поява на заети електронни състояния в забранената зона и може да рефлектира върху сензорните свойства на филма. От направения чрез XPS профил по дълбочина е установено, че концентрациите на O и Sn са почти постоянни от повърхността до интерфейса субстрат/филм, което показва хомогенен състав на получения филм.

Един от най-успешните методи за получаването на наноструктури е импулсното лазерно отлагане (PLD). Главното му предимство е стехиометричния трансфер на материала от мишената към подложката. В поредица от статии са докладвани резултатите от изследванията за получаване чрез PLD на различни наноструктури ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ ) за приложение в областта на газовите сензори. Изследвани са влиянието на параметрите на процеса на отлагане върху физикохимичните свойства и сензорното поведение на различни металоксидни системи.

- *Сравнени са различни тип (гладки, порести и наноструктурирани) тънки филми от ZnO, получени чрез PLD (публикация В.4.2.).*

В работа В.4.2. е разгледано получаването чрез импулсно лазерно отлагане (PLD) на различни (гладки, порести и наноструктурирани) тънки филми от ZnO върху оптични влакна и е сравнено сензорното им поведение при въздействие с пари на амониак при стайна температура. Чрез XPS е установено, че наноструктурираният ZnO адсорбира на повърхността си по-голямо количество OH<sup>-</sup> групи в сравнение с порестия, което се дължи на по-високата му специфична повърхност и това определя сензорното му поведение. Установено е значително по-висока чувствителност на наноструктурираният сензорен елемент в сравнение с гладкия и порестия образци.

- *Изследвано е влиянието на налягането на кислорода по време на първоначално формиране на зародиши от ZnO върху физикохимичните свойства на образци от ZnO, получени чрез PLD (публикация В.4.3.).*

Предмет на изследванията в работа В.4.3. са различни видове наноструктурирани филми от ZnO, получени чрез PLD върху аморфен  $\text{SiO}_2$ . Слоеве са формирани чрез двустепенен процес. Първият етап на отлагането е формиране на зародиши от ZnO при високо налягане на кислорода (20, 50 и 100 Pa). Втората стъпка се състои в отлагане на

ZnO върху създадените зародиши. На този етап налягането на кислорода се понижава до 5 Pa и се поддържа постоянно до края на отлагането. Изследвано е влиянието на налягането на кислорода по време на първоначално формиране на зародишите от ZnO върху физикохимичните свойства на различните образци от ZnO. За изследване на състава и химичното състояние на елементите на повърхността на образците е използвана Рентгенова фотоелектронна спектроскопия (XPS). Установено е, че физикохимичните свойства на наноструктурираните филми от ZnO зависят от началния етап на зародишообразуването. Анализът на данните от XPS показва, че количеството повърхностни кислородни ваканции намалява с увеличаване на налягането на кислорода, използван за формиране на зародишите. С увеличаването на размера на зърната от ZnO, тяхната адсорбционна способност по отношение на хидроксилните групи намалява. Разгледани са промените, настъпващи на повърхността на слоевете от ZnO, след продължителната им експозиция на въздух. Съотношението на интензитета  $O_{OH}/O_{total}$  достига константна стойност, което предполага, че има лимит на адсорбцията на повърхността на филмите. Промяната в броя на адсорбираните частици на повърхността с времето, влияе на повърхностната проводимост, като последната на свой ред променя оптичните свойства на материалите. Получените наноструктури от ZnO са тествани за приложение като активни SERS подложки (*публикация Г.7.1.*). Коефициентът на усилване за R6G, нанесен върху покрити със Au различни наноструктури от ZnO е оценен на  $\approx 10^6$ - $10^7$ .

Друга възможност за формирането на наноструктури е използването на зародиши от благородни метали. В публикации Г.7.4., В.4.4. и Г.7.9. е докладвано за получаването на ZnO чрез PLD като е използван метален (каталитичен) слой, който се явява като зародиш за израстването на формираните наноструктури. Оптимизирането на параметрите на отлагане на самия метален слой е разгледано в статии Г.7.3. и В.4.4.

- *Оптимизирани са параметрите на PLD за получаване на наночастици от Ag, Au и Au-Ag (публикации Г.7.3. и В.4.4.).*

В работи Г.7.3. и В.4.4. са представени резултатите относно оптимизиране на получаването на различни слоеве от наночастици: Ag (*публикации Г.7.3. и В.4.4.*), Au (*публикация В.4.4.*) и Au-Ag (*публикация В.4.4.*), формиращи чрез лазерна аблация. В работа Г.7.3. са представени резултатите от изследванията на сребърни (Ag) наночастици, получени чрез PLD при вариране на дължината на вълната на

използвания за аблацията лазер. Получените Ag наночастици са кристални, добре разпределени върху подложката, среден диаметър 2 – 12 nm, като размерът на наночастиците намалява с намаляването на използваната дължина на вълната. Наночастиците, произведени чрез UV лъчение са почти сферични, докато когато се използва лъчение с дължината на вълната във видимата или близката инфрачервена област, формата на частиците се променя в елипсовидна или бобоподобна. Чрез XPS анализи беше установено, че при отлагането на сребро при стайна температура върху силициевата подложка се формират метални Ag<sup>0</sup> наночастици, но ако при отлагането подложката се нагрява (100°C) върху металните наночастици се формира оксидна обвивка.

В работа В.4.4. са разгледани нанесени чрез PLD слоеве от (Au, Ag и Au – Ag) и термично третирани при температура 550°C. Чрез XPS анализ на повърхността на нанесените слоеве от благородните метали и изчисляване на съотношението между концентрацията на благородните метали е определен състава на формираните слоеве, които са: Au, Au<sub>3</sub>Ag, Au<sub>2</sub>Ag, AuAg<sub>2</sub> и Ag. Установено е, че при слоеве от Au или Ag се образуват метални и окислени наночастици.

- *Оптимизирани са параметрите на PLD за получаване на наноструктури от ZnO чрез използването на метален (каталитичен) слой (публикации Г.7.4., В.4.4. и Г.7.9.).*

В статии Г.7.4., В.4.4. и Г.7.9. е докладвано за получаването чрез PLD на различни видове наноструктури от ZnO върху силициеви подложки, покрити с метални каталитични слоеве от Au (публикации В.4.4. и Г.7.4.), Ag (публикации В.4.4. и Г.7.4.) и Au-Ag (публикации Г.7.4. и Г.7.9.). Чрез XPS е доказано, че чрез PLD и използването на каталитичен слой се получават наноструктури от ZnO. Установено е, че използването на метален слой е от съществено значение за формиране на наноструктури. Образците получени при различни температури на подложката, показват морфологични разлики (публикация Г.7.4.). Видът и дебелината на металния слой също влияят върху морфологията на наноструктурата (публикация Г.7.4.). При използването на тънък (15 nm) каталитичен слой от Au, увеличаването на температурата на субстрата води до промени в морфологията на наноструктурите от наноленти до наностени. Върху Au каталитичен слой с дебелина 50 nm се формират ориентирани по оста С нанопръчки от ZnO.

Използването на метален слой и високите температури на отлагане предполагат vapor-liquid-solid механизъм на израстване, който се характеризира с наличието на метални частици на върховете на нанопръчките. С цел да се изясни механизма на израстване на ZnO при използването на подложни слоеве от Au и Ag, чрез XPS е изследвана повърхността на различните ZnO образци и са направени профили по дълбочина (*публикация В.4.4.*). Чрез XPS е установено наличието на Ag на повърхността на системата ZnO/Ag/Si и отсъствие на Au за образца ZnO/Au/Si, което позволява да се направят изводи относно механизма на израстване на ZnO при използването на различни подложни слоеве. Израстването на ZnO започва от формираните зародиши от наночастици. Установено е, че в случая на Au израстването на ZnO следва vapor-solid механизъм и се формират нанопръчки, докато при Ag протича vapor-liquid-solid механизъм и се отлагат наноленти. Използването на Au – Ag каталитичен слой води до образуване на смесена ZnO структура от нанопръчки и наноленти. Морфологията на ZnO може да бъде променяна чрез промяна на съотношението на Au/Ag в подложния слой.

- *Изследвано е влиянието на дължината на вълната на лазера, използван за аблация, върху физикохимичните свойства на наноструктури от ZnO (публикация Г.7.9.).*

В статия Г.7.9. са сравнени наноструктури от ZnO получени чрез PLD с импулсен лазер с различна дължина на вълната UV ( $\lambda=355$  nm) и VIS ( $\lambda=532$  nm). Изследвано е влиянието на дължината на вълната на лазера за аблация върху морфологията, механизма на израстване и оптичните свойства на наноструктури от ZnO, формирани върху Au – Ag каталитичен слой. Докато ZnO наноструктури, получени с лазер с UV дължина на вълната, притежават морфология на смесени структури, съставена от нанопръчки (среден диаметър от 25-50 nm) и големи наноленти (*публикации Г.7.9., Г.7.4. и В.4.4.*), то структурите отложени чрез използване на импулсен лазер с VIS дължина на вълната, представляват плътна агломерация на наночастици (нанопръчки) със среден диаметър в диапазона 40-55 nm (*публикация Г.7.9.*). При използване на VIS лъчение за аблацията в XPS спектрите се регистрира наличието на Au и Ag върху повърхността на ZnO, което е ясна индикация за vapor-liquid-solid механизъм на израстване на наноструктурите в този случай. Не е наблюдавана разлика в XPS спектрите на пробите, нанесени върху подложни Au – Ag слоеве с различно съотношение Au/Ag. Това, от своя страна, предполага, че съставът на използвания

подложен слой не влияе върху механизма на израстване на наноструктури от ZnO, отложени чрез аблация с VIS лазер. XPS анализите потвърждават, че ZnO отложен чрез аблация с VIS лазер се характеризира с повече кислородни ваканции.

Резултатите от проведените изследвания показват, че наноструктури от ZnO с различна морфология и свойства могат да бъдат синтезирани чрез PLD по контролиран начин, чрез използване на подходящ подложен слой от метални частици, подходяща температура на отлагане и определени параметри на лазерното лъчение. Чрез PLD директно могат да бъдат формирани както слоеве от метали, така и от метални оксиди.

Въпреки атрактивните свойства и практическите предимства на импулсното лазерно отлагане, все още съществуват някои недостатъци и ограничения при използването на PLD за получаването на наноструктури от метални оксиди. Процесът обикновено се извършва във вакуумна камера под висок вакуум или в присъствието на различни газове (кислород, азот, аргон и др.). По този начин, необходимостта от осигуряване на подходяща среда ограничава гъвкавостта на метода и възпрепятства ефективното му промишлено приложение. Наскоро няколко изследователски екипа са успели да преодолеят това ограничение, като са постигнали лазерно отлагане във въздух при атмосферно налягане.

- *Изследвани са порьозни металоксидни наноструктури от ZnO, TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> и MoO<sub>3</sub> получени чрез PLD, извършено във въздух при атмосферно налягане. (публикации В.4.5., В.4.6., и В.4.7.).*

В публикации В.4.5, В.4.6. и В.4.7. се докладва за получаването на порьозни металоксидни наноструктури от ZnO (публикации В.4.5 и В.4.6.), TiO<sub>2</sub> (публикации В.4.5 и В.4.7.), SnO<sub>2</sub> (публикации В.4.5 и В.4.7.) и MoO<sub>3</sub> (публикации В.4.5 и В.4.7.) чрез импулсно лазерно отлагане, извършено във въздух при атмосферно налягане. Структурата, морфологията и състава на металоксидните наноструктури са определени чрез XRD, TEM, SEM и XPS. Доказано е, че прилаганата технология води до образуване на наноструктури, съставени от наночастици с различни размери. Наноструктурите са синтезирани и изследвани с оглед на приложението им като газови сензори. Сензорното поведение на образците е определено в специално конструирана за целта апаратура. Проследена е промяната на съпротивлението на слоевете под въздействието на NH<sub>3</sub> (публикации В.4.5 и В.4.6.), CO (публикации В.4.5 и В.4.7.), ацетон (публикации В.4.5. и В.4.7.) и етанол (публикации В.4.5 и В.4.7.). Важно е да се

отбележи, че тестовете са проведени при стайна температура. В публикация В.4.5. е показано, че всички изследвани металоксидни наноструктури проявяват най-висок отклик към пари на  $\text{NH}_3$ , като най-високата чувствителност проявява слоя от  $\text{TiO}_2$ . Сензорите  $\text{MoO}_3$  и  $\text{SnO}_2$  демонстрират добра селективност спрямо  $\text{NH}_3$ . Най-високата реакция към ацетон и  $\text{CO}$  проявява  $\text{ZnO}$ . От проведените тестове за изследване на сензорните свойства на слоеве от  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ , и  $\text{MoO}_3$  за детекция на  $\text{CO}$ , ацетон и етанол при стайна температура, публикувани в В.4.7., е установено, че наноструктурата на  $\text{MoO}_3$  показва най-високата реакция към парите на етанол, докато  $\text{SnO}_2$  показва най-висок отклик към ацетон. Наноструктурите от  $\text{TiO}_2$  показват най-висок отклик към  $\text{CO}$  с ясно изразен цикъл на реакция (12 - 14 s) и възстановяване (3 - 4 минути) на сензора.

По принцип оптималната работа на сензорите на основата на метални оксиди е при температури от 100-450°C. Високата температура осигурява необходимата енергия за хемисорбция и реакция към газовете на повърхността. При продължителна работа на тези сензори при висока температура се наблюдава дифузия и синтероване, което води до проблеми със стабилността им. Предлагат се различни техники за намаляване на работната температура на сензорите, като дотиране с благородни метали, облъчване със светлина, прилагане на електростатично поле и др. В тази връзка са проведени изследвания върху влиянието на дотирането с благородни метали (*публикации В.4.5. и В.4.6.*) и облъчването със светлината (*публикация В.4.6.*) върху сензорните характеристики на наноструктури от  $\text{ZnO}$ .

- *Изследвани са наноструктури от  $\text{ZnO}$ , дотирани с наночастици от благородни метали ( $\text{Au}$  и  $\text{Pd}$ ) за приложение в газови сензори (*публикации В.4.5. и В.4.6.*).*

В работи В.4.5. и В.4.6. са докладвани резултатите от изследване на дотирането с наночастици от  $\text{Au}$  (*публикация В.4.5.*) и  $\text{Pd}$  (*публикация В.4.6.*) на порьозни наноструктури от  $\text{ZnO}$ , получени чрез импулсно лазерно отлагане във въздух при атмосферно налягане. Добавките са отложени едновременно с  $\text{ZnO}$  чрез използването на мозаечни мишени. С XRD, TEM, SEM и XPS е определена структурата, морфологията и състава на получените нанокомпонитни структури от  $\text{Au-ZnO}$  и  $\text{Pd-ZnO}$ . Изследвано е сензорното поведение на формираните структури спрямо пари на  $\text{NH}_3$  ( $\text{Au-ZnO}$  и  $\text{Pd-ZnO}$ ), ацетон ( $\text{Au-ZnO}$ ), етанол ( $\text{Au-ZnO}$ ) и  $\text{CO}$  ( $\text{Au-ZnO}$ ) в специално конструираната за целта апаратура за газови тестове.



Дотирането на ZnO с Au и Pd повишава поръзността на формираната повърхност. Чрез XRD и XPS беше доказано образуването на сплав Au-Zn (*публикация В.4.5.*) и съществуването на Pd в различни окислителни състояния (*публикация В.4.6.*) на повърхността на образците. Въвеждането на благороден метал (Au или Pd) в сензорния слой от ZnO води до обмен на заряд между наночастиците и матрицата на ZnO. Дотирането със Au подобрява реакцията на ZnO спрямо етанол в сравнение с чист ZnO (*публикация В.4.5.*). Дотирането с Pd води до увеличаване на отклика към амонячни пари с близо 20% спрямо чист ZnO (*публикация В.4.6.*). По тази методика чрез импулсно лазерно отлагане във въздух при атмосферно налягане, могат лесно да се формират и нанокomпозитни структури, състоящи се от метален оксид и благороден метал. Чрез дотиране на наноструктурите с благородни метали се постига контрол върху повърхностната морфология и кристалната структура на чувствителния материал, което води до подобряване на чувствителността и намаляване на работната температура.

- *Изследвано е влиянието на светлината върху сензорното поведение на чисти и дотирани с Pd наноструктури от ZnO, получени чрез PLD (публикация В.4.6.).*

В публикация В.4.6. са представени поръзни (чисти и дотирани с Pd) наноструктури от ZnO, получени чрез PLD във въздух с оглед на приложението им като сензори за амоняк (*публикация В.4.6.*). Пробите са тествани за детекция на NH<sub>3</sub> пари. Установено е, че облъчването със светлина на повърхността на сензора по време на газовите тестове влияе върху сензорните им свойства. Осветяването на повърхността на сензора с бяла светлина увеличава отклика и скоростта на десорбция на газовите молекули при стайна температура. Сравнени са газовите свойства на наноструктурите на чист и дотиран с паладиеви наночастици ZnO при облъчване със светлина с различна дължина на вълната. По-висок отклик и по-бързо възстановяване на сензорите бяха регистрирани при облъчването им с червена светлина.

Едни от най-ефективните методики за подобряване на сензорните свойства на металните оксиди са използването на наноструктури, дотиране с благородни метали и облъчване със светлина. Чрез съчетание на различните методи за анализ (SEM, XPS, XRD, TEM, газови тестове и др.) се получат данни за морфологията; формираните фази и структури; формата и структурата на дотиращите частици; химичния състав, оксидното състояние и стехиометрията на повърхността на изследваните образци,

което е от основно значение за изясняване на сензорното поведение и за създаването на подходящи слоеве с приложение в газови сензори. Чрез охарактеризиране на синтезираните образци се определят оптималните параметри за нови и ефективни технологии за промишлено производство на сензорни слоеве.

## СПИСЪК НА НАУЧНИТЕ ПУБЛИКАЦИИ

на Геновева Атанасова,

включени в хабилитационната справка и номерирани в съответствие със Справката за изпълнение на минималните национални и допълнителните изисквания

**B.4.** Хабилитационен труд - научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и/или Scopus)

**B.4.1.** P Stefanov, **G. Atanasova**, E Manolov, Z Raicheva, V Lazarova, Preparation and Characterization of SnO<sub>2</sub> Films for Sensing Applications, *Journal of Physics: Conference Series*, 100 (2008) 082046, doi:10.1088/1742-6596/100/8/082046  
Scopus: Q3-15т

**B.4.2.** A. Og. Dikovska, **G. B. Atanasova**, N. N. Nedyalkov, P. K. Stefanov, P. A. Atanasov, E. I. Karakoleva, A. Ts. Andreev, Optical sensing of ammonia using ZnO nanostructure grown on a side-polished optical-fiber, *Sensors and Actuators B*, 146 (1) (2010) 331–336, doi: 10.1016/j.snb.2010.02.018  
Web of Science: Q1-25т, Scopus: Q1-25т

**B.4.3.** **G. Atanasova**, A Og Dikovska, M Stankova, P Stefanov and P A Atanasov, XPS study of ZnO nanostructures prepared by laser ablation, *Journal of Physics: Conference Series*, 356 (2012) 012036, doi:10.1088/1742-6596/356/1/012036  
Scopus: Q3-15т

**B.4.4.** A. Og. Dikovska, **G. B. Atanasova**, G. V. Avdeev, N. N. Nedyalkov, Synthesis and characterization of ZnO nanostructures on noble-metal coated substrates, *Applied Surface Science*, 374 (2016) Pages 65–70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.141>  
Web of Science, Scopus: Q1-25т

**B.4.5.** **G. Atanasova**, A. Og. Dikovska, T. Dilova, B. Georgieva, G.V. Avdeev, P. Stefanov, N.N. Nedyalkov, Metal-oxide nanostructures produced by PLD in open air for gas sensor applications, *Applied Surface Science*, 470 (2019) 861–869, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.11.178>  
Web of Science, Scopus: Q1-25т

**B.4.6.** **G. Atanasova**, T. Dilova, A. Og. Dikovska, G. Avdeev, P. Stefanov, N. N. Nedyalkov, Light irradiation effect on the gas sensing properties of the ZnO nanostructures, *Proc. SPIE 11047*, 20th International Conference and School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications, 110470B (2019); <https://doi.org/10.1117/12.2516517>  
Scopus: SJR-10т

B.4.7. T. Dilova, **G. Atanasova**, A. Og. Dikovska, G. V. Avdeev, P. Stefanov, N. N. Nedyalkov, Gas-sensing properties of metal-oxide nanostructures produced by PLD, *Proc. SPIE 11047*, 20th International Conference and School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications, 110470G (2019); <https://doi.org/10.1117/12.2516753>  
Scopus: SJR-10т

Г.7. Научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и/или Scopus)

Г.7.1. A. Og. Dikovska, N. N. Nedyalkov, S. E. Imamova, **G. B. Atanasova**, P. A. Atanasov, Au-coated ZnO nanostructures for surface enhanced Raman spectroscopy applications, *Quantum Electronics*, 42 (3) (2012) 258–261, doi: 10.1070/QE2012v042n03ABEH014761  
Web of Science, Scopus: Q2-20т

Г.7.3. A. O. Dikovska, M. T. Alexandrov, **G. B. Atanasova**, N. T. Tsankov, P. K. Stefanov, Silver nanoparticles produced by PLD in vacuum: role of the laser wavelength used, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 113(1) (2013) 83–88, doi: 10.1007/s00339-013-7834-9  
Scopus: Q1-25т

Г.7.4. A. Og. Dikovska; **G. B. Atanasova**; G. V. Avdeev; M. E. Koleva; N. N. Nedyalkov, Fabrication of ZnO nanostructures by PLD, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 94470 (2015) Article number 94470H. doi:10.1117/12.2175634  
Scopus: SJR-10т

Г.7.9. A. Og. Dikovska, D. Pallotti, S. Lettieri, **G. B. Atanasova**, G. V. Avdeev, P. Maddalena, S. Amoroso, N. N. Nedyalkov, Growth mechanism of ZnO nanostructures produced by ultraviolet and visible laser ablation, *Applied Surface Science*, 423 (2017) 977–982, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.331>  
Web of Science, Scopus: Q1-25т