

APROBAT

Secția AȘM (Secția șt.exacte și ingineresti)

Coordonatorul secției

(*membu cor. Cojocaru Svetlana*)

Semnătura _____

Data: _____

L.Ș.

APROBAT

Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare

Director general

(*Tagadiuc Olga*)

Semnătura: _____

Data: _____

L.Ș.

RAPORT FINAL

privind executarea proiectului bi/multilateral

19.80013.50.07.02A/BL „Dezvoltarea și studiul materialelor fotoactive pentru domeniul spectral al undelor scurte in baza soluțiilor solide oxidice multicomponente”

(*cifrul și denumirea proiectului și programului de finanțare- AȘM-Belarusi*)

02.01.2019-31.12.2020 - 24 luni

(*perioada de implementare a proiectului și numărul de luni*)

Direcția Strategică - (5007), 16.02 „Materiale, produse și tehnologii noi “ _____

Conducătorul proiectului Rusu Emil _____
(numele, prenumele) (semnătura)

Directorul organizației Ghimpu Lidia _____
(numele, prenumele) (semnătura)

Consiliul științific/Senat Ghimpu Lidia _____
(numele, prenumele) (semnătura)

L.Ș.

1. Scopul general al proiectului conform formularului de aplicare (obligatoriu)

Scopul principal al proiectului constă în dezvoltarea tehnologiilor de obținere a filmelor subțiri în baza soluțiilor solide $Zn_xMg_{1-x}O$ ($x=0.1-0.9$), elucidarea mecanismelor de depunere a filmelor și a interdependenței dintre parametrii tehnologici și proprietățile fizice ale filmelor, designul structurilor de dispozitiv pentru senzori de radiație ultravioletă.

2. Obiectivele proiectului conform formularului de aplicare (obligatoriu)

1. Determinarea condițiilor și regimurilor de depunere a soluțiilor solide $ZnMgO$ prin pulverizarea magnetron și piroliza aerosolilor, studiul particularităților de depunere și a influenței compoziției și a parametrilor tehnologici asupra morfologiei și structurii cristalografice a straturilor depuse.
2. Elucidarea interdependenței dintre compoziția, structura și proprietățile electrofizice, optice, luminescente și fotoelectrice ale filmelor.
3. Stabilirea regimurilor tehnologice de obținere a filmelor cu structura hexagonală (wurtzite), cubică (de tipul NaCl) și mixtă prin metoda aerosol a soluțiilor chimice și pulverizarea magnetron.
4. Dezvoltarea diferitor designe-uri de receptori fotoelectrici în baza filmelor preparate (structuri rezistive metal-semiconductot-metal MSM, structuri MSM cu diode Schottky, heterostructuri cu joncțiuni p-n).
5. Determinarea metodelor și parametrilor tehnologici optimați precum și a designe-urilor structurilor de dispozitiv pentru diapazonul spectral ultraviolet vizibil-orb și solar-orb. Testarea în condiții experimentale a fotoreceptoarelor elaborate.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor proiectului (obligatoriu)

1. Dezvoltarea tehnologiilor de pulverizarea magnetron pentru depunerea filmelor $ZnMgO$ cu proprietăți structurale, electrofizice și fotoelectrice dirijate.
2. Dezvoltarea tehnologiilor de depunerea a filmelor $ZnMgO$ prin piroliza aerosolilor.
3. Dezvoltarea diferitor designe-uri de receptori fotoelectrici în baza filmelor preparate (structuri rezistive metal-semiconductot-metal MSM, structuri MSM cu diode Schottky, heterostructuri cu joncțiuni p-n).
4. Determinarea metodelor și parametrilor tehnologici optimați precum și a designe-urilor structurilor de dispozitiv pentru diapazonul spectral ultraviolet vizibil-orb și solar-orb.

4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor proiectului (obligatoriu)

1. A fost stabilită interdependența dintre compoziția, structura și proprietățile electrofizice, optice, luminescente și fotoelectrice ale filmelor; Au fost studiate particularitățile de depunere și a influenței compoziției și a parametrilor tehnologici asupra morfologiei și structurii cristalografice a straturilor depuse.
2. Au fost determinați parametrii tehnologici de depunere a soluțiilor solide $Zn_xMg_{1-x}O$ prin piroliza aerosolilor; Au fost stabilite particularitățile de depunere a filmelor $Zn_xMg_{1-x}O$ prin metoda sol-gel în două variante: spin coating și piroliza aerosolilor; Au fost identificate regimurile tehnologice ale procesului de piroliză a aerosolilor la obținerea filmelor $Zn_xMg_{1-x}O$ cu structura hexagonală (wurtzite), cubică (de tipul NaCl) și mixtă.

3. A fost elaborat prototipul receptorului fotoelectric pentru diapazonul spectral ultraviolet vizibil-orb în baza filmelor $Zn_xMg_{1-x}O$ cu structura wurtzite și pentru diapazonul solar-orb în baza filmelor cu structura cubică. În baza filmelor preparate au fost dezvoltate diferite design-uri de receptori fotoelectrici: structuri rezistive metal-semiconductot-metal MSM, structuri MSM cu diode Schottky, heterostructuri cu joncțiuni p-n.

4. A fost realizat un studiu amplu și aprofundat al parametrilor optici și fotoelectrici ai dispozitivelor elaborate și stabilite design-urile optime ale structurilor de dispozitiv pentru diapazonul spectral ultraviolet vizibil și solar-orb.

5. Rezultatele obținute (conform rezultatelor scontate pe priorități stipulate în HG 381/2019; descriere narativă; 30-60 pagini)

Actualitatea semnificativa a lucrărilor în optoelectronică și nanoelectronică a arătat ca sistemul oxidului de zinc care aparține clasei de semiconductori cu bandă largă se caracterizează printr-un spectru larg de proprietăți fizice utilizat pe larg în domeniul informaticii și comunicării.

În cadrul proiectului au fost elaborate procedee tehnologice de obținere a oxidurilor ternari $Zn_{1-x}Mg_xO$ prin metoda împrăștierii magnetron DC din ținta presată, formată din pulbere de ZnO și MgO în proporție de 95% și 5% respectiv. Studiile de difracție cu raze X au arătat că filmele $ZnO_{0.95}Mg_{0.05}$ obținute la diferite temperaturi ale substratului sunt texturate și posedă o structură hexagonală. Au fost studiate spectrele de transparență optică a straturilor de ZnMgO depuse pe support de sticlă menținut la temperatura între 50°C și 400°C. S-a stabilit că mărimea benzii interzise a straturilor depuse se menține între 3,71 și 3,74 eV odată cu creșterea temperaturii. Concomitent are loc și creșterea transparenței optice a filmelor odată cu ridicarea temperaturii. Pentru toate straturile este caracteristic o transmittanță înaltă în regiunea vizibilă a spectrului. La temperatura suportului $T=50^{\circ}C$ stratul este mai puțin transparent având o transmittanță ce nu depășea 60%, iar la temperatura suportului $T \geq 100^{\circ}C$ straturile indică o transmittanță înaltă ce depășește 80% ca valoare pe tot intervalul spectrului vizibil. În Fig.1. sunt prezentate spectrele transmittanței caracteristice straturilor subțiri de ZnO:Mg depuse la temperatura suportului de la 50 până la 400°C.

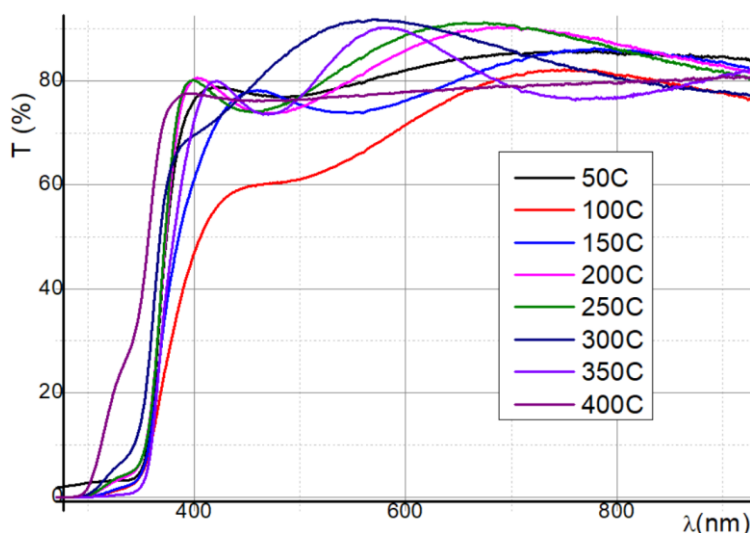


Fig.1. Spectrele de transparență optică a filmelor de $ZnO_{0.95}Mg_{0.05}$ pentru diferite temperaturi a suportului.

Studiile difracției cu raze X au arătat că straturile subțiri de ZnMgO obținute la diferite temperaturi ale suportului sunt texturate și posedă o structură hexagonală Wurtzite cu orientarea preferențială (002) de-a lungul axei C perpendicular pe suprafața substratului. Toate modurile de difracție au variat ca valoare în lățime maximă la jumătatea (FWHM) corespunzătoare vârfului (002). Variația FWHM reflectă, în general schimbarea mărimii cristalitelor în straturile subțiri. FWHM devine mai mic cu creșterea temperaturii substratului datorită cristalinității filmelor îmbunătățite și dimensiunii cristalitelor din ce în ce mai mari odată cu creșterea temperaturii substratului. Între timp, defectele în limitele cristalitelor devin mai puține. Creșterea de transmisie optică a filmelor de ZnMgO cu creșterea temperaturii substratului pot fi atribuite diminuării împrăștierii și absorbției de lumină din cauza creșterii mărimii cristalitelor și scăderea rugozității straturilor subțiri.

Au fost îndeplinite lucrări de obținere a filmelor de $Zn_{1-x}Mg_xO$ prin depunere aerosol și centrifugare (spin-coating) utilizând acetat de zinc și acetat de magneziu ca precursori. Filme de $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ prin metoda aerosol au fost depuse pe suport de p-Si, menținute la temperature de 500-550°C. Depunerea filmelor de $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ prin metoda spin-coating s-a efectuat din soluții 0.35M de $Zn(CH_3CO_2)_2$, $Mg(C_2H_3O_2)_2$ dezolvate în 20mL de 2-methoxyethanol și 0.5 mL de diethanolamine (DEA) ca stabilizator. Imagini SEM a morfologiei filmelor de $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ obținute prin depunerea aerosol sunt prezentate în Fig.2.

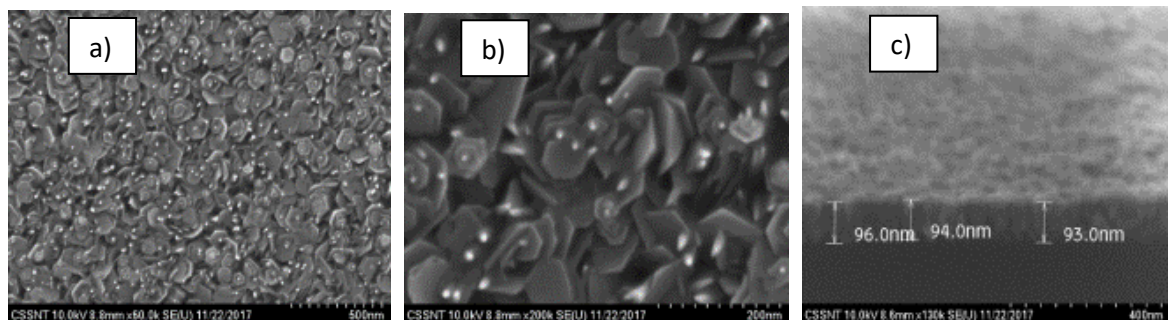


Fig. 2. Imagini SEM a morfologiei (scara:a-500 nm, b-200 nm) și în secțiune (c-400 nm) a structurii p-Si/n- $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ obținute prin metoda de depunere aerosol.

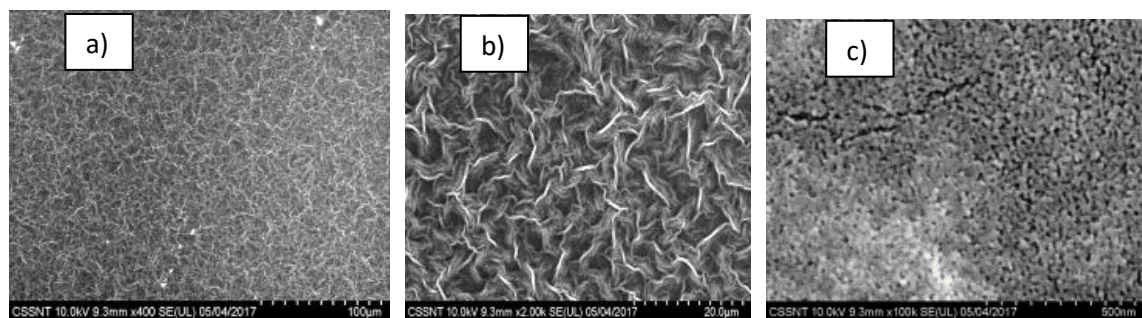


Fig. 3. Imagini SEM a morfologiei (scara: a-100 μm, b-20 μm și c-500 nm) a structurii p-Si/n- $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ obținute prin metoda spin-coating.

2.1 Studiul fotoluminescenței filmelor $n\text{-Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$

În Figura 4 sunt prezentate spectrele de fotoluminescență a filmelor de $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ tratate la 500°C ce include o bandă largă de emisie atât la temperatură camerei cât și la temperatură joasă cu deplasarea maximumului de emisie spre majorarea energiei fotonilor odată cu mărirea concentrației Mg în compus. Deplasarea poziției benzii de fotoluminescență nu se datorează creșterii benzii interzise a compusului cu creșterea compoziției x . Cu cât este mai mare valoarea lui x cu atât este mai mare diferența dintre mărimea benzii interzise și maximumul benzii de fotoluminescență.

În tabela 1 este prezentată poziția benzii de fotoluminescență comparative cu mărimea benzii interzise a compusului ZnMgO . În plus, luminescența este excitată cu energia fotonilor de 3.81 eV mult mai mică decât mărimea benzii interzise în filme pentru valori x de 0.40 (4.28 eV).

Tabela 1: Poziția spectrală a benzii de FL și mărimea benzii interzise a filmelor de ZnMgO la temperatură camerei.

x value	PL band maximum (eV)	Alloy bandgap (eV) ^a
0.00	3.30	3.36
0.05	3.39	3.47
0.15	3.50	3.70
0.40	3.53	4.28

^a conform ref. Yin, H.; Chen, J.; Wang, Y.; Wang, J.; Guo, H. *Sci. Rep. -UK*, **2017**, 7, 41567.

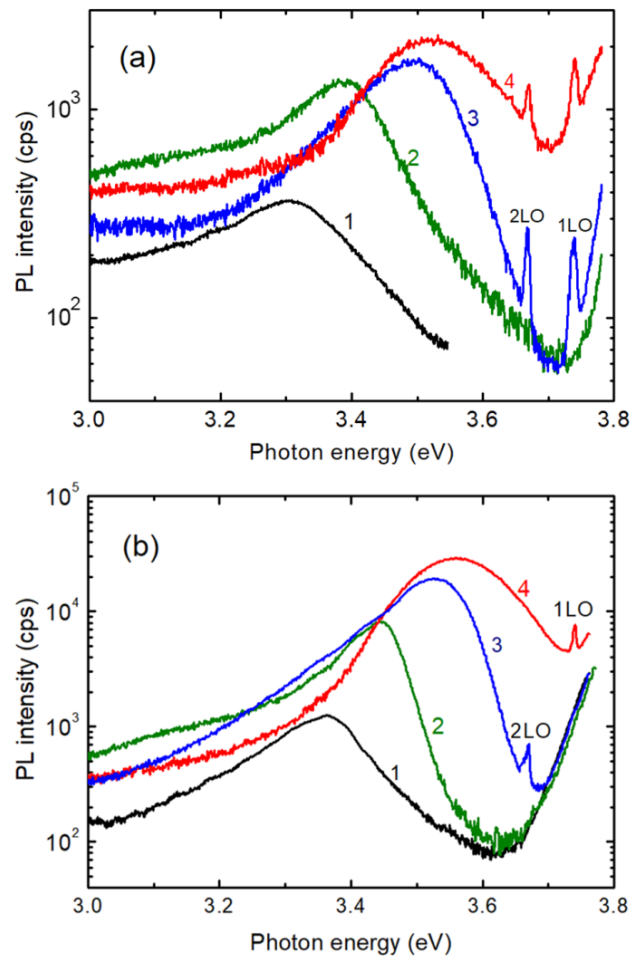


Fig. 4: Spectrul de fotoluminescență a filmelor de $Zn_{1-x}Mg_xO$ depuse prin metoda spin coating pentru valori x 0.00 (1); 0.05 (2); 0.15 (3); și 0.40 (4), tratate la 500 °C și măsurate la a) 300 K și b) 20 K.

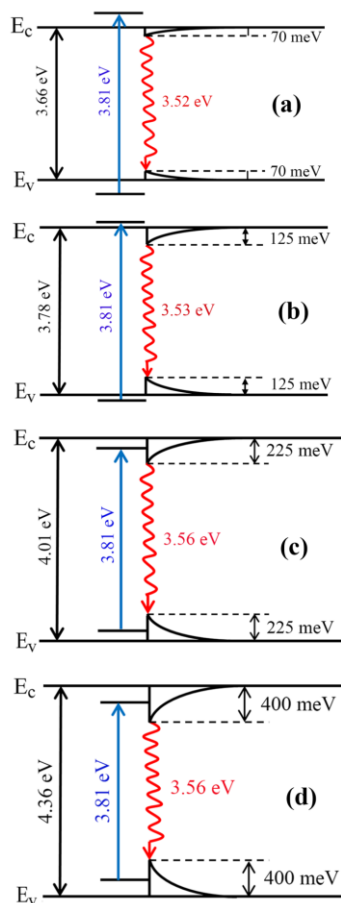


Fig.5: modelul distribuției cozilor densității stărilor energetice la 20 K in filme de $Zn_{1-x}Mg_xO$ pentru valorile x: a) 0.10; b) 0.15; c) 0.25 și d) 0.40.

Pentru filmele cu compoziția $Zn_{0.90}Mg_{0.10}O$ și $Zn_{0.85}Mg_{0.15}O$, energia de excitare a laserului este mai mare față de lărgimea benzii interzise a filmelor oxidice, în timp ce pentru filmele cu compoziția $Zn_{0.75}Mg_{0.25}O$ și $Zn_{0.60}Mg_{0.40}O$ energia de excitare a laserului este mai mică comparativ cu mărimea benzii interzise, și luminescența este cauzată de tranzițiile între cozile densității stărilor energetice, care determină poziția spectrală a benzii de emisie. Cu creșterea valorii x de la 0 până la 0.40, adâncimea cozilor densității stărilor energetice în banda interzisă crește până la 400 meV.

2.2 Caracteristicile I-V a structurii n- $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O/p-Si$

Caracteristicile I-V a structurii n- $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O/p-Si$ obținute prin depunere aerosol și spin-coating au fost studiate între două contacte de Pd depuse pe suprafața filmului și a heterojuncțiunii între contactul de Pd format pe filmul n- $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ și contactul de Al de pe suprafața suportului de Si. În Fig.6 sunt prezentate caracteristicile I-V ale heterojuncțiilor

ZnMgO/Si pentru două concentrații a Mg în stratul oxidului ternar. Structurile studiate demonstrează fotosensibilitate în domeniul UV al spectrului optic, iar fotocurentul crește odată cu creșterea intensității de iluminare. Lampa cu xenon cu puterea de 150W a fost folosită ca simulator solar.

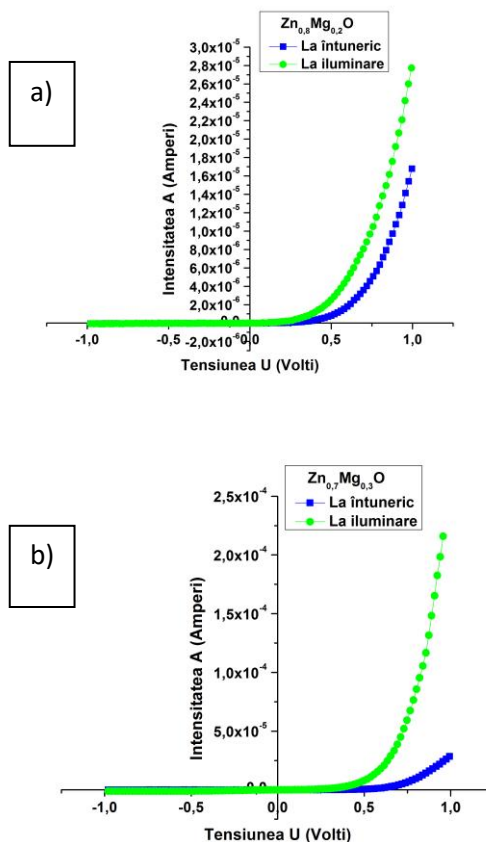


Fig. 6. Caracteristica I-V a heterojuncțiunii n- $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O/p$ -Si (a) și heterojuncțiunii n- $Zn_{0.7}Mg_{0.3}O/p$ -Si (b) la întineric și iluminare cu $100W/cm^2$ de la simulator solar.

Relaxarea fotocurentului în structurile ZnMgO/Si la temperatura 300K la iluminarea cu radiația UV (200-400 nm) și în domeniul vizibil (400-680 nm) este prezentată în Fig.7. În domeniul UV și VIS fotocurentul este mai mare pentru structuri obținute prin depunere aerosol, iar în domeniul IR fotocurentul este mai mare pentru structuri, obținute prin metoda spin-coating. Sensibilitatea mai înaltă în domeniul UV al spectrului pentru structurile obținute prin metoda aerosol se datorează calității structural mai înalte în structurile date.

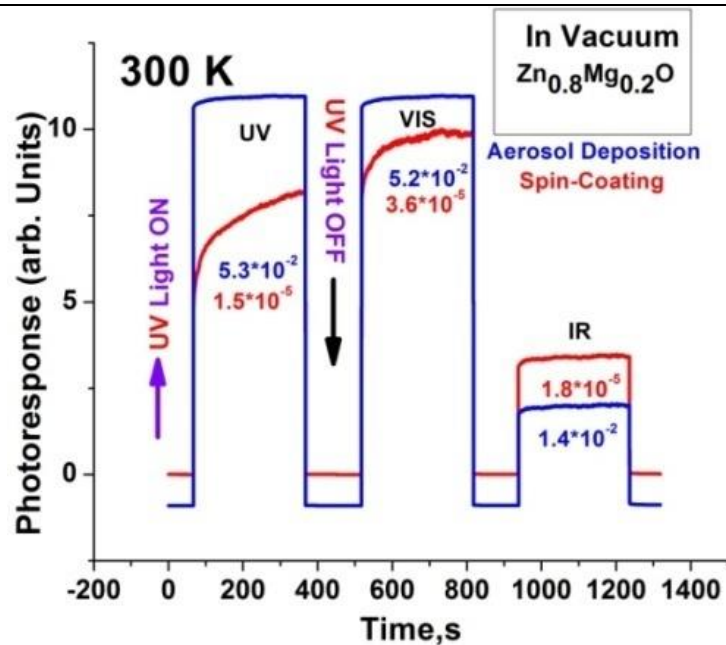


Fig.7. Relaxarea fotocurentului la 300 K in vid sub iluminarea pentru diferite lungimi de undă.

Reacția rapidă și atingerea valorii maxime a fotocurentului la iluminarea structurii au presupus că transportul sarcinii în mostrele studiate este foarte rapid, i-ar răspunsul fotocurentului pentru heterostructura $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O/Si$ crește brusc până la mărimea de 10^{-3} A. La 300K observăm că fotocurentul este mult mai lent în cazul filmelor obținute prin metoda spin-coating față de cele obținute prin metoda aerosol. Filmele obținute prin metoda aerosol reacționează rapid la iluminare și revin la poziția inițială odată ce iluminarea este oprită.

Caracteristica I-V a a filmelor de n- $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ obținute prin depunerea aerosol și prin metoda spin-coating, având ca barieră contactul din Pd pe suprafața filmului este prezentată în Fig.8.

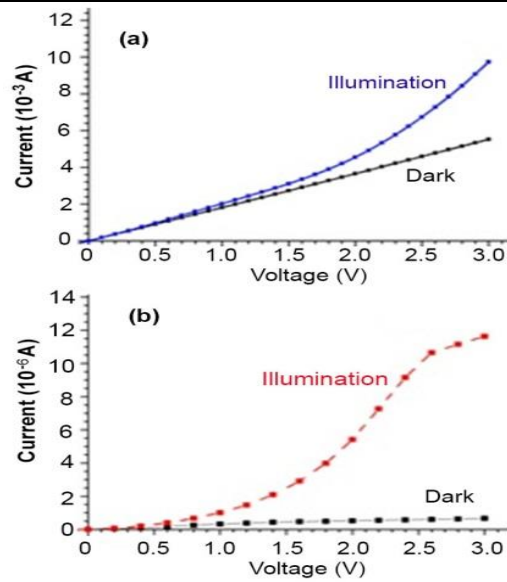


Fig.8. Caracteristica current-tensiune la întuneric și iluminare cu radiație UV pentru filme Pd-Zn_{0.8}Mg_{0.2}O obținute prin metoda depunere aerosol (a) și spin-coating (b). T=300 K.

Structura dată demonstrează fotosensibilitate la iluminarea cu radiația UV, iar fotocurentul se mărește proporțional cu mărirea densității fluxului de iradiere. Relaxarea fotocurentului la iluminarea cu radiația UV pentru 25 K indică o reacție rapidă pentru structurile obținute prin ambele metode (depunere aerosol și spin-coating), fără component de lungă durată a relaxării. La temperatură de 300 K apare o diferență în curbele de relaxare pentru probele obținute prin metode diferite.

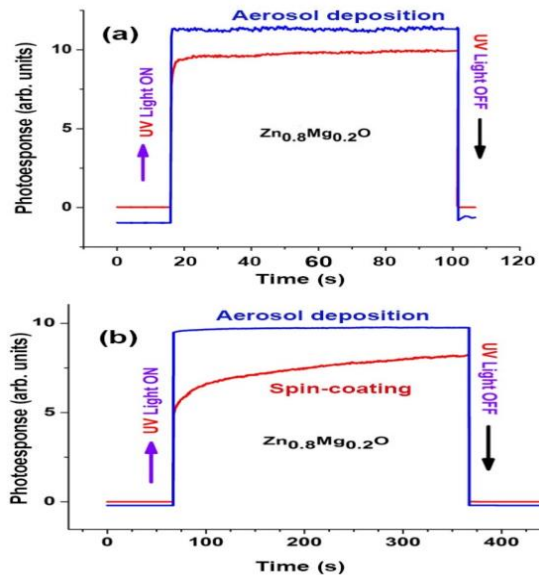


Fig.9. Relaxarea fotocurentului la iluminarea cu radiație UV măsurate in vid la 25 K (a) și 300 K (b) pentru filme depuse prin metoda aerosol și spin coating

In timp ce relaxarea fotocurentului la iluminarea cu radiația UV este similară la temperaturi joase (25 K) și temperature camerei (300 K) pentru mostre obținute prin depunere aerosol (fără component de lungă durată), comportamentul este diferit pentru mostrele obținute prin metoda spin-coating.

Pentru asigurarea selectivității fotoreceptorului la radiația ultravioletă pentru subdomeniile spectrului optic A, B, C în funcție de compoziția stratului $Mg_xZn_{1-x}O$ prin crearea unui gradient al benzii interzise de cel puțin $3 \cdot 10^5$ eV/cm în regiunea activă a detectorului, determinat de includerea în structura fotoreceptorului a filmului transparent-fereastră cu o diferență a benzilor energetice față de filmul de absorbție. Această structură a fotoreceptorului păstrează de asemenea fotosensibilitatea înaltă la radiația optică. Costul redus al tehnologiei este asigurat prin utilizarea metodei sol-gel de pulverizare cu aerosoli sau prin centrifugare.

Structura fotoreceptorului propus (fig.10) conține suportul din siliciu cu conductibilitate de tip *p*, filme oxidice de ZnO și $Zn_{0.60}Mg_{0.40}O$, bariera Schottky Ag- $Zn_{0.60}Mg_{0.40}O$ și contactul ohmic Al-p-Si.

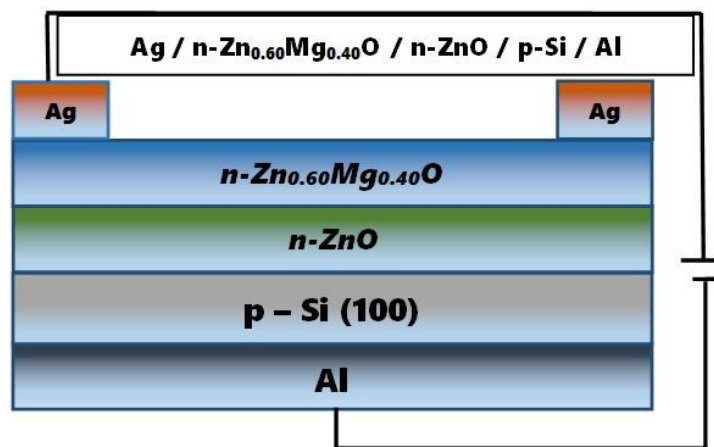


Figura 10. Structura fotoreceptorului cu bariera Schottky Ag- $Zn_{0.6}Mg_{0.4}O$ cu gradient al benzii interzise în regiunea activă a detectorului de radiație optică.

Stratul de absorbție este stratul de ZnO, iar stratul fereastră este filmul $n-Zn_{0.60}Mg_{0.40}O$. În cazul dat mărimea benzii interzise a ZnO constituie 3,34 eV, valoarea benzii interzise a stratului $n-Zn_{0.60}Mg_{0.40}O$ este aproximativ 3,62 eV, astfel diferența între valorile benzilor interzise a straturilor este de 0,28 eV.

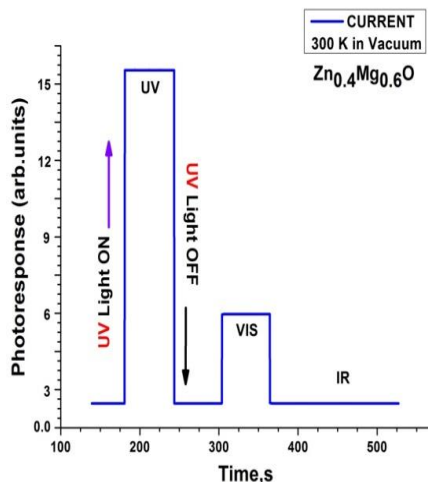


Figura 11. Relaxarea fotocurentului măsurat la 300 K în vid sub iradierea luminii de la lampa cu xenon DKSS-150 W. Cum se poate observa din imaginea dată sensibilitatea în domeniul vizibil este joasă, iar pentru domeniul infraroșu sensibilitatea receptorului este nulă.

Structura fotoreceptorului pe suport din siliciu cu conductibilitate de tip p , cu filme oxidice de $Zn_{0.85}Mg_{0.15}O$ și $Zn_{0.65}Mg_{0.35}O$, bariera Schottky $Ag-Zn_{0.65}Mg_{0.35}O$, contactul ohmic $Al-p-Si$ este prezentat în fig.12.

La utilizarea stratului $Zn_{0.65}Mg_{0.35}O$ cu banda energetică mai mare față de stratul precedent, acest strat joacă rolul ferestrei optice, iar stratul de absorbție a radiației este protejat de stratul fereastră ce duce la diminuarea stărilor de suprafață a stratului absorbant, fapt ce duce la micșorarea pierderilor în urma recombinării purtătorilor de sarcină și, respectiv, la majorarea fotocurentului. Stratul fereastră în structura fotoreceptorului mai are și rolul de a reduce esențial coeficientul de reflecție a radiației optice. Purtătorii de sarcină generați de lumina incidentă sunt divizați de câmpul electric intern al $p-n$ -joncțiunii. Fluxul de electroni este direcționat spre regiunea n , iar al golurilor - spre regiunea p a $p-n$ -joncțiunii, ajungând în rezultat la contactul ohmic sau la barieră. Gradientul benzii interzise format în structura dată facilitează mișcarea purtătorilor de sarcină ca urmare a câmpului electric intern rezultat din gradientul compoziției oxidului ternar, iar maximul de sensibilitate al receptorului este determinat de compoziția stratului absorbant.

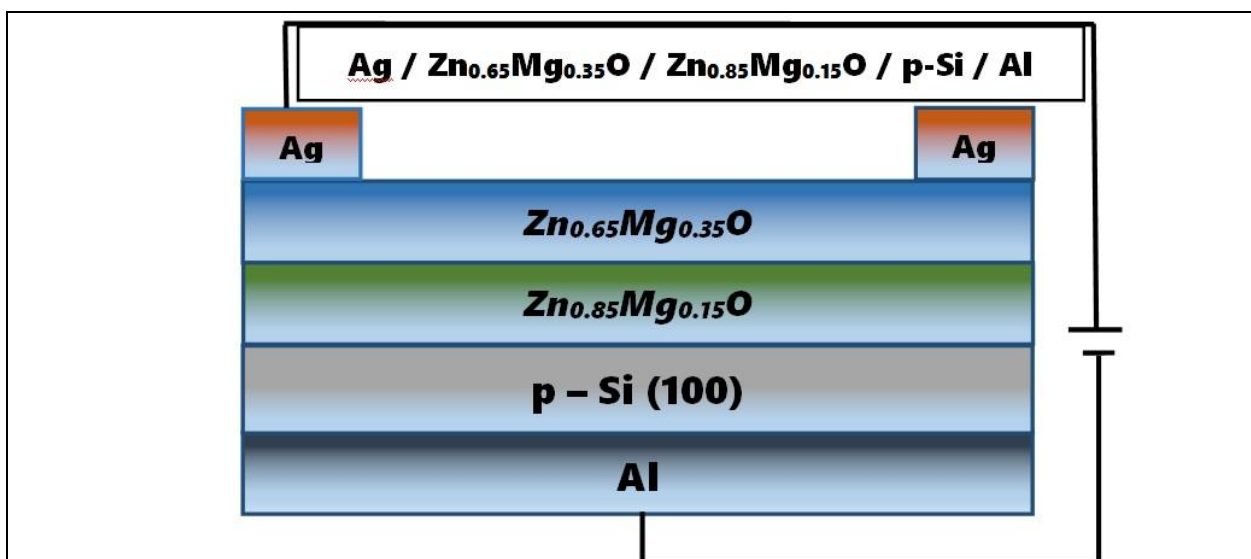


Figura 12. Structura fotoreceptorului cu bariera Schottky Ag-Zn_{0.65}Mg_{0.35}O cu gradient al benzii interzise in regiunea activa a detectorului de radiație optică.

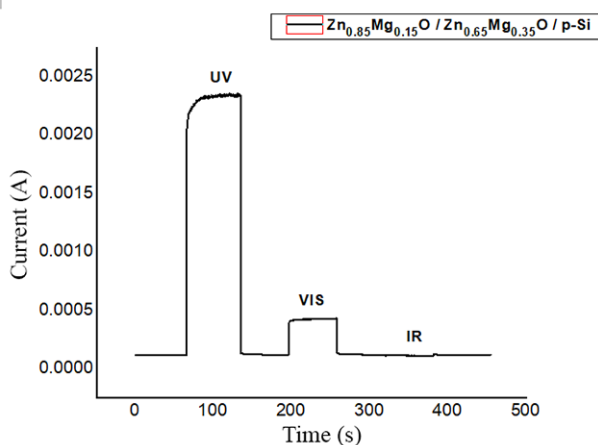


Fig.13. Fotorăspunsul detectorului confecționat în baza structurii cu stratul Zn_{0.85}Mg_{0.15}O/Zn_{0.65}Mg_{0.35}O/p-Si măsurat la polarizare inversă de 5V și excitare cu puterea de 63 mW.

După cum se poate vedea din fig.13 fotorăspunsul în domeniul IR al spectrului optic lipsește, iar în domeniul vizibil al spectrului este neesențial, iar fotorăspunsul maxim este situat în domeniul UV al spectrului.

Performanța fotodetectorilor a fost estimată prin calcularea valorilor a doi parametri: a fotorăspunsului (R) care este definit de expresia (1) și a detectivității (D^*) definită de expresiile:

$$R = \frac{I_{photo} - I_{dark}}{P_{ill}} \quad (1), \quad D = \frac{R\sqrt{A}}{\sqrt{2e I_{dark}}} \quad (2):$$

unde I_{photo} este fotocurentul la iluminare, I_{dark} este curentul la întuneric iar P_{ill} este puterea

radiației incidente.

La excitarea UV, Polarizare directă (5V)

$$R = 29 \text{ mA}/63 \text{ mW} = 460 \text{ mA/W}$$

$$D = \frac{0,46 \cdot \sqrt{A}}{\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9 \cdot 10^{-4}}} = \frac{0,46 \cdot 0,35}{\sqrt{2,88 \cdot 10^{-22}}} = \frac{0,16}{1,7} \cdot 10^{11} \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$$

Analiza spectrelor de absorbție optică în coordonatele $(h\nu\alpha)^2 = f(h\nu)$ este prezentată în Figura 14. După cum se cunoaște, banda interzisă pentru ZnO este 3,4eV și în grafic este prezentată cu (linia verde). Benzile interzise de 3,78 eV, 4,35 eV și 5,2 eV sunt estimate pentru valoarea lui x de 0,2 (linia roșie), 0,3 (linia neagră) și respectiv 0,4 Mg (linia violetă). Presupunem că filmul subțire cu valoarea x de 0,6 are o structură cristalină mixtă (hexagonală-cubică), deoarece se știe că separarea fazelor are loc atunci când valoarea lui x este în intervalul de $0,37 \leq x \leq 0,6$.

Domeniul fotosensibilității receptorului se schimbă prin modificarea compoziției stratului de absorbție, astfel cum este indicat în fig.14.

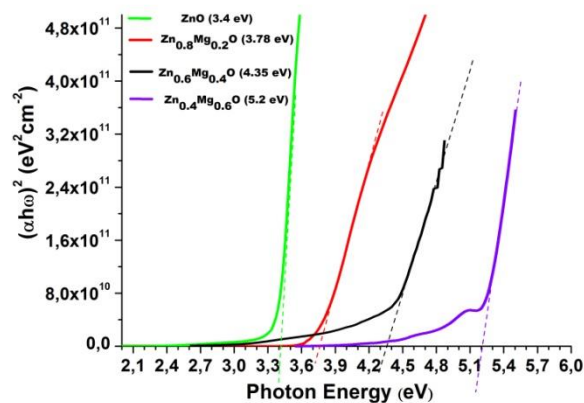


Fig.14. Dependența benzii interzise determinată din relația $(\alpha h\nu)^2 = f(h\nu)$ în funcție de compoziția oxidului ZnMgO.

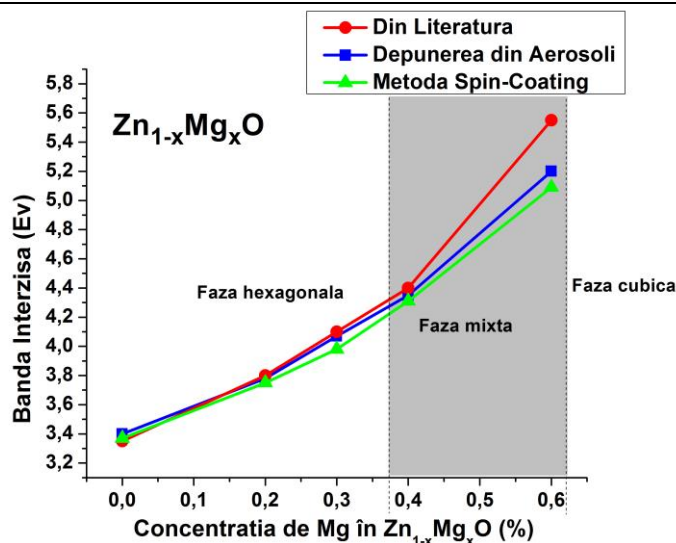


Fig.15. Dependența benzii interzise în funcție de compoziția oxidului $Zn_{1-x}Mg_xO$ obținute prin depunerea din aerosoli și spin-coating.

După cum se observă din figura dată se observă o coincidență bună până la faza mixtă în special pentru faza hexagonală, doar că în faza mixtă pentru concentrația de Mg de 0.6, se observă o deviere de la datele din literatură, pentru care banda interzisă este puțin mai mare.

Spectrele de transmisie optică ale filmelor subțiri ZnO și $ZnMgO$ în funcție de energia fotonilor sunt prezentate în Figura 16. Transparența filmelor subțiri cu concentrația mai mare de Mg a fost de aproximativ 85% pentru valoarea x de 0,4.

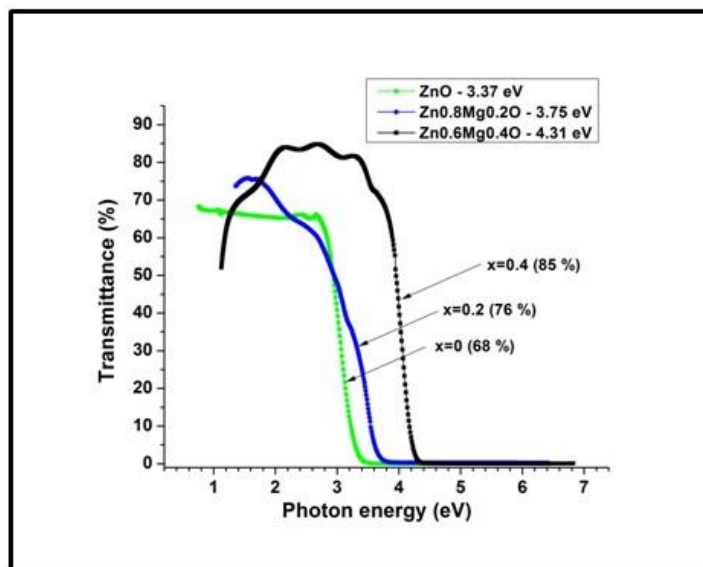


Fig.16. Spectrele de transmisie optică a filmelor ZnO și $Zn_{1-x}Mg_xO$. $T=300K$.

Banda interzisă pentru ZnO este de 3,37 eV (368 nm) și prin modificarea concentrației

de Mg, banda energetic crește până la valoarea de 4,31 eV (288 nm) pentru $x = 0,4$, ceea ce confirmă posibilitatea confecționării dispozitivelor optoelectronice destinate domeniului spectral UV pentru regiunea spectrului UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320nm) în vederea aplicațiilor biomedicale.

6. Descrierea colaborării între organizația din RM și organizațiile partenere după caz (specificul și continuitatea colaborării)

Partenerul de colaborare a fost informat continuu privind acțiunile întreprinse și rezultatele obținute. A fost înaintată spre publicare o lucrare științifică comună.

М.А. ЯРМОЛЕНКО, А.С. РУДЕНКОВ, А.В. РОГАЧЕВ, Е. РУСУ, А.В. СЕМЧЕНКО, В.В. СИДСКИЙ/Электронно-лучевой синтез, структура и свойства однокомпонентных и легированных магнием покрытий оксида цинка / / Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 4 (45). – в печати.

7. Diseminarea rezultatelor obținute în formă de publicații (obligatoriu)

*Lista publicațiilor în care se reflectă **rezultatele obținute în proiect**, perfectată conform cerințelor față de lista publicațiilor ale ANACEC (Anexa 7 la Regulamentul de funcționare a consiliilor științifice specializate și de conferire a titlurilor științifice, aprobat prin Decizia Consiliului de Conducere al ANACEC nr. 38 din 10.10.2018; <http://www.cnaa.md/normative-acts/normative-acts-confirmation-doctor-habilitated-doctor/transitional-provisions/>)*

– **articole din alte reviste editate în străinătate,**

1. VADIM MORARI, AIDA PANTAZI, NICOLAI CURMEI, VITALIE POSTOLACHE, EMIL V. RUSU, MARIUS ENACHESCU, ION M. TIGINEANU, VEACESLAV V. URSACHI / *Band tail state related photoluminescence and photoresponse of ZnMgO solid solution nanostructured films*//Beilstein Journal of Nanotechnology, 2020, 11, 899-910. IF=2,44
2. VADIM MORARI, EDUARD MONAICO, EMIL RUSU, KARIN LEISTNER, KORNELIUS NIELSCH, V. V. URSAKI and I. M. TIGINYANU. *Photosensitivity of heterostructures produced by aerosol deposition of ZnMgO thin films on Si substrates*. ATOM-N 2020 – 10th edition, 20-23 august, Contanta, Romania, 2020, Proc. of SPIE, Online, V.11718, pp. 1171818/1/8, DOI: 10.1117/12.2571189
3. V. MORARI, V. POSTOLACHE, G. MIHAI, E. RUSU, ED. MONAICO, V. V. URSACHI, K.NIELSCH, I. M. TIGINYANU/ *Electrical and photoelectrical properties of Zn_{1-x}Mg_xO thin films obtained by spin coating and aerosol deposition method* // 4th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, 18-21 September 2019, Chisinau, Republic of Moldova, IFMBE Proceedings 77, ed.4, 2020, Springer Nature Switzerland AG, I. Tiginyanu et al. (eds.), pp. 105-109, Print ISSN 1680-0737, Online 1433-9277, https://doi.org/10.1007/978-3-030-31866-6_23.

ISBN:978-303031865-9.

4. М.А. ЯРМОЛЕНКО, А.С. РУДЕНКОВ, А.В. РОГАЧЕВ, Е. РУСУ, А.В. СЕМЧЕНКО, В.В. СИДСКИЙ/Электронно-лучевой синтез, структура и свойства однокомпонентных и легированных магнием покрытий оксида цинка // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 4 (45). – в печати
5. VADIM MORARI, *Studiul morfologiei și proprietăților electrice a structurii n-Si/n-ZnO/p-ZnMgO*. The technical scientific conference undergraduate, master and phd students, UTM. 01-03 april, Chisinau, Vol -1, p. 281-284, (2020). ISBN 978-9975-45-633-3.
6. VADIM MORARI, *Caracterizarea filmelor Zn_{0.8}Mg_{0.2}O obținute prin metoda spin coating și depunerea din aerosoli pe suporturi de p-Si*. Conferința Internațională - Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători, ediția a IX-a, USDC, 10 iunie, Chișinău, Vol.I, p. 68-73, (2020), ISBN 978-9975-3389-5-0.
7. V. MORARI, V. URSAKI, E. RUSU, I. TIGINYANU. *Injection photodiodes based on metal oxide semiconductors*. Moldavian Journal of the Physical Sciences (MJPS), Chisinau, Republic of Moldova, 2020, v.19,nr.1-2, p-98-109. Doi: 15.5281/zenodo.4118693. ISSN 1810-648X.
8. VADIM MORARI, NICOLAI CURMEI/ *Proprietățile electrice a joncțiunii p-Si/n-Zn_{1-x}Mg_xO obținute prin metoda Spin-Coating*. Conferința Internațională - Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători, ediția a VIII-a, USDC, Chișinău, 10 iunie 2019, pp. 25-28, ISBN:978-9975-108-65-2.
9. VADIM MORARI,/ *Proprietățile optice ale filmelor subțiri de Zn_{1-x}Mg_xO obținute prin Spin-Coating*// Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, UTM, Chișinău, 26-29 martie 2019, Vol. 1, pp.402-405. ISBN 978-9975-45-588-6

8. Diseminarea rezultatelor obținute în formă de prezentări (comunicări, postere, teze/rezumat/abstracte) la foruri științifice (obligatoriu)

Lista forurilor la care au fost prezentate rezultatele obținute în cadrul proiectului.

1. Participarea la Conferința Internațională ATOM-N 2020 – 10th edition, 20-23 august, Contanta, Romania, 2020 / *Photosensitivity of heterostructures produced by aerosol deposition of ZnMgO thin films on Si substrates*//comunicare orală prezentată de Morari Vadim.
2. Prezentarea la 4th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, 18-21 September 2019, Chisinau, Republic of Moldova/ *Electrical and photoelectrical properties of Zn_{1-x}Mg_xO thin films obtained by spin coating and aerosol deposition method*// comunicare orală prezentată de Morari Vadim.
3. Prezentarea la technical scientific conference undergraduate, master and phd students, UTM. 01-03 april, Chisinau, 2020/*Studiul morfologiei și proprietăților electrice a structurii n-Si/n-ZnO/p-ZnMgO*// comunicare orală prezentată de Morari Vadim.
4. Prezentarea la Conferința Internațională - Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători, ediția a IX-a, USDC, 10 iunie, Chișinău// *Caracterizarea*

filmelor $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ obținute prin metoda spin coating și depunerea din aerosoli pe suporturi de p-Si// comunicare orală prezentată de Morari Vadim.

5. Participarea la Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, UTM, Chișinău, 26-29 martie 2019/*Proprietățile optice ale filmelor subțiri de $Zn_{1-x}Mg_xO$ obținute prin Spin-Coating*// comunicare orală prezentată de Morari Vadim.

6. Institutul a fost coorganizatorul Conferinței Internaționale SPINTECH-NANO-Limits of Nanoscience and Nanotechnologies 24-27 September 2019, Chisinau, Republic of Moldova cu participarea executorilor proiectului.

9. Protecția rezultatelor obținute în formă de obiecte de proprietate intelectuală

Cerere de brevet de invenții/ autori: V. MORARI, V. URSAKI, E.RUSU, I. TIGHINEANU // **Fotoreceptor de radiație UV**, AGPI, Nr. 2139 din 27.10 2020.

10. Materializarea rezultatelor obținute

Se indica forma de materializare și impactul social și/sau economic

La realizarea proiectului dat a fost antrenat doctorandul Morari Vadim care a contribuit la elaborarea procedeelor tehnologice de obținere a soluțiilor solide de $Zn_{1-x}Mg_xO$ și structurilor în baza lor.

A fost demonstrată posibilitatea aplicării structurilor planare în baza soluțiilor solide $Zn_{1-x}Mg_xO$ pentru confecționarea dispozitivelor optoelectronice și fotoelectrice pentru domeniul UV al spectrului optic: UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm) pentru aplicații biomedicale. Dezvoltarea în continuare a tehnologiei de obținere a compușilor oxidici și optimizarea dizainului dispozitivelor fotoelectrice ar permite efectuarea monitorizării eficiente a radiației UV al spectrului optic, inclusiv celui bactericid, caracteristic COVID, fapt ce caracterizează impactul social al elaborării realizate.

Institutul a fost coorganizatorul Conferinței Internaționale SPINTECH-NANO-Limits of Nanoscience and Nanotechnologies 24-27 September 2019, Chisinau, Republic of Moldova cu participarea executorilor proiectului.

11. Colaborări cu organizații de cercetare internaționale, proiecte de cercetare/activități comune cu parteneri externi (după caz)

În perioada 01 octombrie 2019 – 29 februarie 2020 a fost realizată stagierea doctorandului MORARI Vadim la **Institutul Leibniz pentru cercetarea stării solide a materialelor, IFW,**

Dresden, Germania

Grant de cercetare - Bi-nationally supervised doctoral degrees (“Sandwich”)

DAAD (German Academic Exchange Service Scholarships)

12. Dificultățile în realizarea proiectului (după caz)

Financiare, organizatorice, legate de resursele umane, etc.

13. Concluzii (obligatoriu).

Au fost elaborate procedee tehnologice de obținere a filmelor oxidice de ZnMgO prin metoda depunerii aerosol, spin/coating și împrăștiere magnetron. Rezultatele studiului au demonstrat că metodele de depunere aerosol și spin-coating sunt metode eficiente, cost-efective de preparare a filmelor de $Zn_{1-x}Mg_xO$ pentru aplicații în optoelectronică. Structurile cu heterojuncțiune $Zn_{1-x}Mg_xO/Si$ pentru două concentrații de Mg demonstrează fotosensibilitate în domeniul UV al spectrului optic, iar fotocurentul crește odată cu creșterea intensității de iluminare având ca sursă lampa cu XENON cu puterea de 150 W. S-a stabilit că în domeniul UV și VIS fotocurentul este mai mare în structurile obținute prin metoda aerosol, iar în domeniul IR fotocurentul este mai mare pentru structurile obținute prin metoda spin-coating, fapt ce poate fi explicat prin existența defectelor induse în procesul de depunere. A fost elaborat și studiate caracteristicile fotoelectrice a fotoreceptorului cu bariera Schottky Ag- $Zn_{0.65}Mg_{0.35}O$ cu gradient al benzii interzise în regiunea activă a detectorului de radiație optică, ce asigură selectivitate maximă pentru domeniul UV al spectrului optic cu reducere semnificativă a sensibilității pentru domeniul vizibil al spectrului. A fost determinat fotorăspunsul (R) și detectivitatea (D^*) care constituie mărimile:

La excitarea UV, Polarizare directă (5V)

$$R = 29 \text{ mA}/63 \text{ mW} = 460 \text{ mA/W}$$

$$D = \frac{0,46 \cdot \sqrt{A}}{\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9 \cdot 10^{-4}}} = \frac{0,46 \cdot 0,35}{\sqrt{2,88 \cdot 10^{-22}}} = \frac{0,16}{1,7} \cdot 10^{11} \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$$

Engl. Was elaborated technological process of obtaining a thin films of $Zn_{1-x}Mg_xO$ by aerosol deposition, spin-coating and magnetron sputtering methods. The results of the study showed that aerosol deposition and spin-coating methods are cost-effective methods in the preparation of $Zn_{1-x}Mg_xO$ films for optoelectronics applications. The $Zn_{1-x}Mg_xO/Si$ heterojunction with two concentrations of Mg, demonstrates photosensitivity in the UV domain of the optical spectrum, and the photocurrent would increase with the increase of the illumination intensity of the XENON lamp (150 W). It has been established that in the UV domain and VIS, the photocurrent is higher in the structures obtained by the aerosol method, and in IR domain, the photocurrent is higher for the structures obtained by the spin-coating method, which can be explained by the existence of defects induced in the deposition process. Were elaborated and studied the photoelectric characteristics of the photodetector with Schottky barrier Ag- $Zn_{0.65}Mg_{0.35}O$ with gradient of band gap in the active region of the optical radiation detector, which ensures maximum selectivity for the UV domain of the optical spectrum, with a significant reduction of sensitivity for the visible range of the spectrum. It was determined the photoresponse (R) and the detectivity (D^*) which constitute the equations below:

At excitation UV, direct polarization (5V)

$$R = 29 \text{ mA}/63 \text{ mW} = 460 \text{ mA}/\text{W}$$

$$D = \frac{0,46 \cdot \sqrt{A}}{\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9 \cdot 10^{-4}}} = \frac{0,46 \cdot 0,35}{\sqrt{2,88 \cdot 10^{-22}}} = \frac{0,16}{1,7} \cdot 10^{11} \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$$

Notă: concluziile vor fi publicate în acces deschis pe pagina web oficială a Agenției.

Conducătorul de proiect _____ / RUSU Emil

Data: _____

LS

**Executarea devizului de cheltuieli, conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare 8B din
26.02.2020**

Cifrul proiectului: 19.80013.50.07.02A/BL

Cheltuieli, mii lei						
Denumirea	Cod		Anul de gestiune			
	Eco (k6)	Aprobat	Modificat +/-	Precizat	Executat	Sold
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211200	70,6		70,6	70,6	
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii	212100	16,2		16,2	16,2	
Prime de asigurare obligatorie de asistenta medicală achitate de angajator și angajați pe teritoriul țării	212210	3,2		3,2	3,2	
Deplasări în interes de serviciu peste hotare	222720	36,4	-36,4			
Servicii editoriale	222910	3,7		3,7	3,7	
Servicii de cercetări științifice	222930					
Servicii neatribuite altor aliniate	222990	0,3	0,3	0,6	0,6	
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110	19,0	25,2	44,2	44,2	
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110	0,6	10,9	11,5	11,5	
Total		150,0		150,0	150,0	

Notă: În tabel se prezintă doar categoriile de cheltuieli din contract ce sunt în execuție și modificările aprobate (după caz)

Conducătorul organizației _____/Ghimpu Lidia

Contabil șef _____/ Colos Natalia

Conducătorul de proiect _____/Rusu Emil

Data: _____

LȘ

Componența echipei proiectului

Cifrul proiectului 19.80013.50.07.02A/BL

Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului)						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Rusu Emil	1944	Dr.hab.	0,13	02.01.2019	30.12.2020
2.	Ursachi Veaceslav	1956	Dr.hab.	0,13	02.01.2019	30.12.2020
3.	Zalamai Victor	1978	Dr.	0,14	01.03.2019	30.10.2020
4.	Morari Vadim	1992		0,14	02.02.2019	30.11.2020
5.	Suman Victor	1967		0,14	02.02.2019	30.11.2020
6.	Leapin Valentin	1949		0,16	01.04.2019	31.08.2020
7.	Stoica Lucia	1953		0,14	02.02.2019	30.11.2020

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform contractului de finanțare	
--	--

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2020					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1.	Modificări nu au avut loc				
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor la data raportării	
---	--

Conducătorul organizației _____ / Ghimpu Lidia

Contabil șef _____ / Colos Natalia

Conducătorul de proiect _____ / Rusu Emil

Data: _____

LS