Raport stiintific

Privind implementarea proiectului in perioada IANUARIE 2013–DECEMBRIE 2013

Introducere

In prezent, datorita dezvoltarii industriale, poluarea mediului a devenit o problema foarte importanta. Zilnic, industria si motoarele vehiculelor produc gaze toxice precum oxizi de azot, monoxidul de carbon, dioxid de sulf, etc. Elaborarea de sisteme de detectie si construirea de senzori care sa detecteze aceste gaze, in particular a oxizilor de azot, se afla in atentia atat a a cercetatorilor cat si a industriei de specialitate.

Un compus care prezinta un deosebit interes ca material activ pentru aplicatii in domeniul senzorilor este oxidul de wolfram (WO_x). In particular acesta prezinta sezitivitate ridicata in detectarea de NO₂.

Necesitatea miniaturizarii si scaderea costurilor de productie a impus obtinerea de diferite nanostructuri precum nanoparticule, nanofibre, nanotuburi, filme subtiri nanostructurate, clusteri, etc., care permit o crestere a senzivitatii datorita ariei specifice mari si a dimensiunilor mici.

In ultimele decenii, pentru obtinerea de nanostructuri s-au dezvoltat o mutitudine de tehnici mai mult sau mai putin laborioase, care prezinta avantaje si dezavantaje. O tehnica simpla, curata si versatila este ablatia laser (Depunere Laser Pulsata – PLD). Adaugarea la sistemul PLD a unui generator de radiofrecventa (RF) care produce o descarcare in gaz reactiv sau inert, conduce la o crestere a reactivitatii in zona de crestere a filmului pe substrat, contribuind la controlul atat al stoichiometriei compusului cat si al dimensiunilor nanostructurilor generate.

Scopul acestui proiect este depunerea, prin PLD si RF-PLD, de filme subtiri nanostructurate si ansambluri de clusteri (CA) de oxid de wolfram (WO_x) cristaline, reproductibile, ale caror nanostructuri (graunte, clusteri) sa aiba dimensiuni regulare si controlabile, pentru aplicatii in senzoristica.

Etapa II (ianuarie 2013 - decembrie 2013)

Aceasta etapa a fost dedicata in intregime cresterii, caracterizarii si testarii de structuri de tip senzor bazate pe oxid de wolfram cu proprietati specifice detectiei de gaze tozice. Astfel, in urma studiilor proprietatilor structurilor de WO_3 obtinute in etapa I, s-au determinat parametrii optimi (tabel 1) pentru obtinerea de filme nanostructurate si de structuri de WOx-CA care ar putea fi capabile sa raspunda la cantitati mici de gaz toxic.

Lungimea de	e Nr.	pulsuri	Fluenta	laser	Presiune (mbar)	Temperatura	Putere
unda λ (nm)	laser		$\Phi (J/cm^2)$)		substrat Ts (°C)	RF (W)
193	40000		3		0.05 O ₂ + 0.05 Ar; 0.1	600	0
					0.05 O ₂ + 0.05 Ar; 0.1		150
					1.5 O ₂ + 1.5 Ar; 3		150
					2.5 O ₂ + 2.5 Ar; 5		150

Activitate 2.1: Structuri de WOx-CA crescute prin PLD si RF-PLD;

Tinad cont de conditiile optime enumerate mai sus, au fost depuse filme test de WOx-CA pe substraturi de alumina (Al_2O_3) , siliciu (100) si sticla pentru a dovedi reproductibilitatea metodei PLD (tabel 2).

Nr. proba	Substrat	λ (nm)	Φ (J/cm ²)	Nr.	Presiune (mbar)	Ts (°C)	$\mathbf{P}_{\mathbf{RF}}(\mathbf{W})$
				pulsuri			
1264	Al ₂ O ₃ + Si	193	3	20000	$0.05 \text{ O}_2 + 0.05 \text{ Ar}; 0.1$	600	150
1265	(100)				$0.5 O_2 + 0.5 Ar; 1$		
1266					$1.5 O_2 + 1.5 Ar; 3$		
1267					2.5 O ₂ + 2.5 Ar; 5		
1268					3.5 O2 + 3.5 Ar; 7		
1287	Sticla + Si			40000	$0.05 \text{ O}_2 + 0.05 \text{ Ar}; 0.1$		0
1288	(100)				$0.05 \text{ O}_2 + 0.05 \text{ Ar}; 0.1$		
1289					$0.05 \text{ O}_2 + 0.05 \text{ Ar}; 0.1$		150
1290					$1.5 O_2 + 1.5 Ar; 3$		
1291					$2.5 O_2 + 2.5 Ar; 5$		

Activitate 2.2: Investigatii morfologice, structurale si compozitionale pe structurile de tip WOx-CA; Filmele de WOx-CA obtinute mai sus au fost investigate din punct de vedere structural prin spectroscopie Raman. Numai proba 1264 (crescuta prin RF-PLD in 0.1 mbar de O₂+Ar) prezinta un spectru Raman in mod clar atribuit compusului WO₃ (vezi figura 1 – spectrul rosu). Caracteristicile sunt cu siguranta cele ale WO₃ monoclinic, situate la lungimile de unda de 134, 188, 273, 330, 645, 805, 1000 cm⁻¹. Acestea indica faptul ca materialul este cristalin. Picul de la 1000 cm⁻¹ este deplasat in raport cu pozitia raportata a benzii tipice de WO₃ nanostructurate (aproximativ 950 cm⁻¹), deși are un umar slab jurul 950 cm⁻¹. Acesta din urma poate fi indiciu al unei fractii minoritare de material nanostructurat. Contributia dominanta a picului ar putea aparea dintr-un al doilea ordin al contributiei (se observa ca acest spectru este de inalta calitate, avand o intensitate mare).



Fig. 1 Spectru Raman al probei 1264 (rosu) in comparatie cu probele 1265 - 1268



Fig.2 Spectre Raman ale probelor 1265 – 1268

Spectrele celorlalte filme de WOx (crescute prin RF-PLD in gaz mixt la presiuni cuprinse intre 1-7 mbar) sunt similare și prezinta picuri ascutite (observate și in spectrul probei 1264) situate la 380, 417, 430, 450, 577, 750 cm⁻¹ (fig.2). Acestea coincid cu caracteristicile Raman ale aluminei. Explicatia consta in faptul ca filmele depuse sunt prea subtiri si nu exista suficient material pentru a fi detectat prin spectroscopie Raman.

Morfologia suprafetelor structurilor bazate pe WOx a fost investigata cu un microscop de forta atomica (AFM) de tip XE 100. Din fig. 3 se observa ca filmul obtinut prin PLD la 0.1 mbar de $Ar+O_2$ prezinta o suprafata nanostructurata, compacta (fig. 3a) in timp ce suprafetele filmelor crescute prin RF-PLD

la 3 si 5 mbar de gaz mixt sunt nanostructurate dar cu "graunte" sau acumulari de clusteri (CA) bine delimitate (fig. 3c si d). De asemenea filmul obtinut prin RF-PLD la 0.1 mbar de $Ar+O_2$ este nanostructurat si compact dar cu "graunte" mai mici decat cele de pe suprafata filmului crescut in aceleasi conditii prin PLD (fig.3b).



Fig.3 Imagini AFM ale suprafetelor filmelor crescute la 600°C prin a) PLD in 0.1 mbar de Ar+O₂, b) RF-PLD in 0.1 mbar de Ar+O₂, c) RF-PLD in 3 mbar de Ar+O₂ si d) RF-PLD in 5 mbar de Ar+O₂

Imaginile SEM arata ca proba 1264 (obtinuta prin RF-PLD in 0.1 mbar de gaz mixt) apare acoperita cu un film stratificat, probabil, cu o distributie de particule, care reprezinta un constituent minoritar (fig. 4a). Toate celelalte filme (1265, 1267, 1268) prezinta suprafete netede, cu particule impraștiate, mai mult sau mai putin dispersate. O exceptie importanta este proba 1266 (RF-PLD, 3 mbar de $Ar+O_2$) care apare bine nanostructurata și densa (fig 4b).



Fig. 4 Imagini SEM ale filmelor de WOx-CA crescute prin RF-PLD in o mixtura de gaz la presiunea de a) 0.1 mbar si b) 3 mbar

Investigatiile EDX (Analiza Dispersiva in Energie) au aratat doar prezenta siliciului si a oxigenului, fara a identifica si woframul. Lipsa wolframului poate fi explicata prin faptul ca metoda EDX este sensibila in adancime (pentru W este nevoie de electroni cu o energie de 20keV, deci penetrarea sub-suprafetei este mare) prin urmare grosimea filmului este extrem de importanta.

Activitatea 2.3: Construirea unei camere de testare a senzorilor bazati pe WOx pentru detectarea gazelor toxice

Masurarea si testarea raspunsului senzorilor la diferite concentratii de compusi organici volatili (COV) a fost realizata intr-o atmosfera controlata, avand posibilitatea introducerii de analiti lichizi cu diferite concentratii (pana la cativa ppm), incalzind senzorii pana la 400 °C.

Pentru aceasta, senzorii au fost montati pe o placa de alumina (Al_2O_3) ca in Fig. 5 care contine un termoculplu de tip K (pentru masuratorile cu temperatura). Pentru a masura schimbarile in rezistenta ale senzorilor expusi la diferite concentratii de COV, acestia (electrozii metalici din Pt) au fost contactati cu doua cleme (vezi Fig. 5). Resistenta de contact a fost determinata a fi mai mica de 50 Ω .



Fig. 5 Placa de alumina pe care sunt montati senzorii bazati pe WOx

In Fig. 6 este prezentata schema dispozitivului experimental folosit pentru testarea in timp real a senzorilor bazati pe WOx. Astfel, masurarea temperaturii si a rezistentei in timpul testarii senzorilor a fost realizata cu un Keithley 2400 si un multimetru Keithley 2000 controlate cu un program in LabView. Placa de alumina (impreuna cu senzorul) a fost introdusa intr-un cuptor cu curgere constanta de gaz (N_2 , 5 l/min).

Amestecul compusilor organici toxici se realizeaza intr-un balon (de la Carl Roth). Astfel, pentru detectia analitilor lichizi precum amoniacul o mica cantitate a fost introdusa cu o siringa cromatografica in balon, dupa care acesta a fost umplut cu N_2 , obtinandu-se concentratii in intervalul ppm (Fig. 6).



Fig. 6 Schema sistemului experimental folosit pentru testarea in timp real a senzorilor bazati pe WOx

Activitatea 2.4: Obtinerea de electrozi interdigitali pe substraturi de alumina si sticla;

In cadrul acestei activitati au fost obtinute doua tipuri de traductori interdigitali pe substraturi de alumina si sticla folosind metode diferite de procesare.

Asfel, pe substraturile de alumina (Al_2O_3) folosind fotolitografia si apoi metalizarea prin sputtering s-au obtinut traductori interdigitali cu urmatoarele caracteristici: film metalic: Pt (200 nm)/Ti (20 nm),

latimea electrodului (finger): 50 microni, distanta dintre electrozi: 50 microni si lungimea electrodului: 6.8 mm.

Al doilea tip de traductori interdigitali a fost implementat pe substraturi de sticla borax care are conductivitate neglijabila la masurarea rezistentei oxidului de wolfram la temperaturi ridicate.

Electrozii superiori au fost obtinuti prin pulverizare (sputtering) folosind mai intai un strat intermediar de crom de 20 nm, peste care a fost depus un strat de Pt (cu grosimea de 100 nm). Design-ul electrozilor se poate observa in Fig. 7 (proba 1300) si 8 (proba 1301). Imaginile indica electrozii interdigitali de Pt la diferite magnificari ale microscopului optic, dreapta 5X, mijloc 10X si stanga 50X.



Fig.7 Imagini optice ale probei 1300

In Fig. 8 sunt prezentate imaginile optice ale senzorului cu stratul subtire de WO3depus prin PLD.



Fig. 8 Imagini optice ale probei 1301

Activitatea 2.5: Depunerile prin ablatie laser de filme de WOx-CA pe structurile de tip traductori interdigitali;

Pentru a obtine *senzori de WOx-CA*, pe structurile de tip traductori interdigitali/substrat (sticla sau Al₂O₃) s-au depus doua seturi de filme de WOx, prin ablatie laser asistata sau nu de descarcare in radio-frecventa in conditiile stabilite in tabelul 1.

Filmele subtiri de WOx-CA au fost crescute in atmosfera de gaz mixt (50% O_2 si 50% Ar) pe structuri de tip traductori interdigitali/substrat care au fost mentinute in timpul procesului de depunere la o temperatura de **600°C**. Lungimea de unda optima determinata a fost **193 nm**. Numarul de pulsuri laser care au interactionat cu tinta ceramica de WO₃ a fost mentinut constant la **40000**. Fluenta laser a fost setata la **3** J/cm². In tabelul 3 sunt prezentate conditiile in care au fost depuse straturile de WOx-CA.

Nr. proba	Substrat	Presiune (mbar)	$\mathbf{P}_{\mathbf{RF}}(\mathbf{W})$
1292	Al_2O_3	$0.05 O_2 + 0.05 Ar; 0.1$	0
1293		$0.05 O_2 + 0.05 Ar; 0.1$	
1294		$0.05 O_2 + 0.05 Ar; 0.1$	150
1295		$0.05 O_2 + 0.05 Ar; 0.1$	
1296		1.5 O ₂ + 1.5 Ar; 3	
1297		2.5 O ₂ + 2.5 Ar; 5	
1300	sticla borax	$0.05 O_2 + 0.05 Ar; 0.1$	0
1301		$0.05 O_2 + 0.05 Ar; 0.1$	
1302		$0.05 O_2 + 0.05 Ar; 0.1$	150
1303		$0.05 O_2 + 0.05 Ar; 0.1$	
1304		$1.5 O_2 + 1.5 Ar; 3$	
1305		$1.5 O_2 + 1.5 Ar; 3$	

Pentru primul set de probe a fost determinata grosimea stratului de WOx prin spectroelipsometrie. Astfel, probele 1292, 1293, 1294 si 1295 au o grosime de cca 400 nm, in timp ce proba 1296 are o grosime de cca 70 nm iar proba 1297 prezinta o grosime a stratului de oxid de wolfram de aproximativ 40 nm.

Activitatea 2.6: Stabilizarea senzorilor prin tratamente termice

Pentru a obtine un raspuns stabil in timp al senzorilor bazati pe WOx, acestia au fost incalziti 24 de ore la 350 °C, urmat de 6 ore la 500 °C in curgere continua de aer sintetic ce contine 20% O_2 si 80% N_2 [S. Capone *et al*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials 2003].

Activitatea 2.7: Caracterizarea morfologica, structurala si compozitionala a senzorilor bazati pe structurile de WOx-CA

Primul pas dupa depunerea filmelor subtiri de WO_3 pe electrozii metalici a fost caracterizarea acestora prin microscopie optica. Imaginile au fost achizitionate cu un microscop optic Zeiss Axioplan cuplat la o camera digitala Leica. Pentru magnificari mari a fost folosit un microscop Olympus SZH 10 Research Stereo cu o camera CCD Stingray F145C. In figurile 7 si 8 sunt prezentate imagini de microscopie optica ale probelor 1300 si 1301.

Investigatiile SEM (fig. 9) facute pe suprafata senzorului cu film de WOx confirma nanostructurarea observata si pe probele de test (1264-1267).



Fig. 9 Imagine SEM pe suprafata senzorului WO₃/traductori interdigitali/sticla (proba 1301)

Spectrele Raman au fost inregistrate cu un microscop confocal Labram Raman la Jobin Yvon. Raman au fost colectate in intervalul 150 - 1150 cm⁻¹. Toate spectrele au fost inregistrate la temperatura camerei.

In fig. 10 sunt prezentate spectrele probelor 1300 si 1301 obtinute prin PLD la 600°C si 0.1 mbar de (Ar+O₂). Din nou, apar cele doua faze N si γ -monoclinic dar si faza triclinic- δ . Se observa ca picul de la 950 cm⁻¹ este foarte slab, ceea ce indica o mai slaba nanostructurare in aceste filme.



Fig. 10 Spectre Raman ale probelor 1300 si 1301

Senzorii obtinuti au fost investigati din punct de vedere structural si prin difractie de raze X, folosind un difractometru Siemens pulbere D500 echipat cu o sursa de Cu, cu fante late de 1 mm și 3 mm. Scanarea a fost θ-2θ. Senzorii de WOx-CA prezinta o structura predominant monoclinica ca a tintei ceramice de WO₃.



Fig. 11 Spectre XRD ale probei 1301 (PLD la 600°C si 0.1 mbar de Ar+O₂)



Fig. 12 Spectre XRD ale probei 1302 (RF-PLD la 600°C si 0.1 mbar de Ar+O₂)

Activitatea 2.8: Caracterizare electrica a senzorilor in gaze;

Detectarea amoniacului este o problema foarte importanta atat pentru industrie cat si pentru siguranta populatiei. De exemplu, emisiile de amoniac, cum ar fi cele produse de activitatile agricole (ex. grajduri) sunt o problema majora de mediu, in special in vecinatatea localitatilor urbane. Pentru a masura emisiile de amoniac și calitatea aerului din interiorul grajdurilor, sunt necesari senzori de amoniac ieftini și de incredere.

Senzorii bazati pe WOx-CA pot fi o solutie la detectarea amoniacului.

Mai intai au fost determinate proprietatile electrice ale senzorilor la diferite temperaturi. Apoi, a fost masurat raspunsul senzorilor la diferite concentratii de amoniac (10-100 ppm) la diferite temperaturi de functionare. In Figurile 13, 14 si 15 sunt prezentate aceste rezultate. Pentru temperaturi mai mari de 100°C rezistenta senzorilor bazati pe structuri de oxid de wolfram scade atunci cand acestia sunt expusi la diferite concentratii de NH₃ si revine la valoarea initiala atunci cand amoniacul este inlocuit cu aer.

Astfel, senzorii bazati pe WOx au un comportament de semiconductor de tip n atunci cand sunt expusi la gaz reductor (amoniac). WO₃ este un semiconductor de tip n care are ca purtatori principali electronii liberi. Atunci cand sunt expusi la gaze reductoare, moleculele de NH₃ interactioneaza cu oxigenul pre-adsorbit si elibereaza electroni in stratul cristalin de WO₃. Aceasta conduce la reducerea stratului de goluri si in consecinta la scaderea rezistentei senzorului (vezi figurile 13, 14 si 15).

Un raspuns complet diferit a fost observat in cazul senzorilor masurati la temperaturi sub 100°C, atunci cand rezistenta senzorilor creste la expunerea in atmosfera de amoniac (Fig. 3). Acest comportament a fost observat si de catre Y.S. Kim *et al*, (Appl. Phys. Lett. 2005) pentru filme bazate pe nanoroduri de oxid de worlfram nonstoichiometric, fiind explicat de autori ca datorandu-se adsorbtiei dintre oxigenul molecular și vaporii de analit la suprafata stratului activ. Filmele $WO_{2.72}$ non-stoichiometrice ar trebui sa aiba cai de absorbtie mai favorabile datorita structurii sale deficiente in defecte de oxigen fata de WO_3 stoichiometric. Probabil, sensibilitatea mare este atribuita grauntelor foarte mici si suprafetei specifice mari asociate cu structurile nanorod $WO_{2.72}$. Acesta nanostructurare permite senzorilor sa fie folositi in modul cel mai sensibil. Cu toate acestea, creșterea anormala a rezistentei la expunerea redusa de analiti nu pot fi explicata prin modelul conventional de sarcina spatiala.

Unul dintre mecanismele posibile este efectul opus al analitilor adsorbiti in timpul miscarii purtatorilor de sarcina liberi. Numarul de coliziuni ale purtatorilor in "bulk" devine comparabil cu cel al coliziunilor la suprafata, datorita dimensiunii comparabile intre drumul liber mediu al purtatorilor și grosimea foarte subtire a nanorodului (in cazul nostru dimensiunea nanoparticulelor). Adsorbanitii pot functiona ca centre active de imprastiere, suprimand conductia electrica de purtatori liberi, adica, generand creșterea rezistentei atat de oxidare și cat de reducere in prezenta analitului.



Fig. 13 Raspunsul unui senzor bazat pe WO₃ (proba 1301) la 100 ppm NH₃ masurat la 25°C si 100°C



Fig. 14 Raspunsul unui senzor bazat pe WO₃ (proba 1301) la 100 ppm si 50 ppm concentratii de amoniac masurat la 200°C



Fig. 15 Raspunsul unui senzor bazat pe WO₃ (proba 1300) la diferite concentratii de amoniac (primele doua masuratori 50 ppm, urmatoarele 3 masuratori 100 ppm) masurat la 350°C

Activitate 2.9 (suplimentara): Obtinerea de filme subtiri din nanoparticule de oxid de wolfram inglobate intr-o matrice de polimer prin metoda MAPLE

O noua directie care a derivat din tematica acestui proiect o constituie obtinerea de filme subtiri bazate pe WO_3 inglobate intr-un polimer conductiv. Aceasta a aparut o data cu necesitatea de a mari aria specifica a suprafetelor filmelor subtiri bazate pe WO_3 si care ar duce implicit la o crestere a sensibilitatii senzorilor la diferite gaze toxice (amoniac, oxizi de azot).

Polianilina (PANI) in amestec cu oxid de wolfram (WO₃) nanoparticule este un material care poate fi folosit in aplicatii cu senzori, datorita suprafete specifice ridicate și capacitatii de a transforma interactiile chimice in semnale electrice. Filme subtiri ale acestui compozit au fost obtinute prin tehnica Evaporare Laser Pulsata Asistata de o Matrice (MAPLE). Un tinta inghetata (la -190°C) constand intr-un amestec de polianilina (PANI), nanoparticule WO₃ (concentratii diferite) și xilen ca solvent a fost iradiata cu lungimea de unda 266 nm.

Morfologia suprafetelor a fost in detaliu studiata prin AFM si SEM. Se observa ca suprafetele filmelor de PANI+WO₃ prezinta pe arii mari ($40 \times 40 \ \mu m^2$) structuri de tip filament, in timp ce pe arii mai mici de $2 \times 2 \ \mu m^2$ apar graunte cu dimensiuni cuprinse intre 50-100 nm (fig. 16 si fig. 17).



Fig. 16 Imagini AFM ale filmelor de a) PANI, b) PANI+WO₃ (1%) si c) PANI+WO₃ (10%)



Fig. 17 Imagine SEM pentru un film de pani+WO₃ (1%)

De asemenea a fost studiata influenta raportului de concentratii $PANI/WO_3$ asupra proprietatilor electrice. Masuratorile electrice au fost facute cu o punte de impedanta Agilent 4294A la o tensiune constanta de 500 mV. Se observa ca o data cu cresterea concentratiei de WO_3 in film, creste si rezistenta electrica, apropiindu-se de cea a polianilinei (fig. 18).



Fig. 18 Comportamentul electric al filmelor obtinute prin MAPLE

Au fost facute teste in gaze (amoniac) cu senzorii de PANI si WO_3 (10%). In fig. 19 sunt prezentate raspunsurile electrice si caracteristicile de revenire pentru un senzor bazat pe nanoparticule de WO_3 (fig. 19a) si un sezor bazat pe PANI (fig. 19b) stabilizati la 200°C si expusi la 200 ppm de amoniac. Pentru WO_3 s-a determinat o sensibilitate de 8% iar pentru senzorul PANI o sensibilitate de 11%, vitezle de raspuns si de revenire fiind satisfacatoare.



Fig. 19 Dependenta temporala a rezistentei electrice pentru un senzor bazat pe a) WO₃ si b) PANI

Concluzii

Filme subtiri nanostructurate de oxid de wolfram si filme de CA-WO_x au fost obtinute prin ablatie laser. Adaugarea descarcarii de radio-frecventa la sistemul de PLD clasic, coroborata cu o temperatura mare a substratului si o presiune de 0.1 mbar Ar+O₂ conduce la sintetizarea de filme de WO₃ cristaline cu nanoparticlule cu dimensiuni regulate. Filmele obtinute in aceste conditii prezinta o compozitie stoichiometrica, cu un grad mare de ordine structurala si o distributie omogena a elementelor in film. O rugozitate mare (3 nm) si particule cu dimensiuni regulate (50-60 nm) arata ca este obtinuta o arie specifica mare in prezenta fascicolului RF. Si in cazul filmelor de CA-WO_x, prezenta RF asociata cu o temperatura ridicata (600°C) si o presiune mare (7 mbar) conduce la obtinerea de clusteri densi cu dimensiuni regulate.

Astfel, tinad cont de conditiile optime de crestere a filmelor de WOx-CA, au fost produsi in mod reproductibil senzori bazati pe WOx-CA care stablizati la 350°C prezinta o sensibilitate de 50% in prezenta amoniacului.

In viitor, tematica acestui proiect va fi continuata prin folosirea tehnicii MAPLE pentru a obtine filme de WO_3 inglobate intr-un polimer care sa duca la o sensibilitate crescuta a senzorilor la diferite gaze toxice.

Objectivele acestei priect au fost in intregime realizate.

Diseminare

1) poster: M. Filipescu, R. Birjega, M.D. Dumitru, P. M. Ossi, M. Dinescu, *Structural and morphological evolution of nanostructured tungsten oxide grown by radio-frequency discharge assisted laser ablation*, Conferinta EMRS, Strasbourg - Franta, 27-31 mai 2013

2) articol: M. Filipescu, V. Ion, S. Somacescu, B. Mitu, M. Dinescu, *Investigation of Ta2O5 and TaSixOy thin films obtained by radio frequency plasma assisted laser ablation for gate dielectric applications*, Applied Surface Science 276 (2013) pp. 691-696

3) prezentare orala: V. Ion, M. Filipescu and M. Dinescu, *Optical properties of tungsten oxide thin films obtained by pulsed laser deposition*, 20-24 Mai 2013 Bran, Romania

4) prezentare orala: M. Dumitru, M. Filipescu, R. Birjega and M. Dinescu, *X-Ray diffraction studies on tungsten oxide thin films obtained by pulsed laser deposition*, 20-24 Mai 2013 Bran, Romania

5) poster: M. Filipescu, V. Ion, R. Birjega, M.D. Dumitru, M. Dinescu, *Growth of nanostructured tungsten oxide thin films by radio-frequency plasma assisted laser ablation*, Conferinta Internationala CPPA 16, Bucuresti - Romania, 20-25 iunie 2013

6) poster: M. Filipescu, A. Matei, V. Ion, F. Stokker-Cheregi, P. M. Ossi, M. Dinescu, *Thin Films of Tungsten Oxide Nanoparticles Embedded in Polyaniline Matrix by MAPLE Technique for Sensors Application*, Conferinta Internationala COLA, Ischia-Italia, 6-11 octombrie 2013

7) Un **articol** cu titlul *"Fabrication of tungsten oxide ammonia sensors by laser-based methods*", autori M. Filipescu, A. Palla Papavlu, C. Schenider, M. Dinescu, T. Lippert **urmeaza sa fie trimis spre publicare** la Sensors and Actuators B: Chemical.

Director proiect Dr. Mihaela Filipescu