

TEHNOLOGIE CU PROCESAREA FOTOTERMICĂ RAPIDĂ PENTRU SENZORI DE GAZE ÎN BAZA SEMICONDUCTORILOR OXIZI

T. Şişianu, S. Şişianu, O. Lupan

Universitatea Tehnică a Moldovei

Centrul Internațional Tehnologii Moderne pentru Studii și Cercetări

INTRODUCERE

În această lucrare se propune tehnologia cu procesare foto-termică rapidă (PFTR) pentru senzori de gaze în baza semiconductorilor oxizi: ZnO, Cu₂O și SiO₂. Prin combinarea metodelor chimice de depunere a peliculelor, inclusiv SILAR, și procesarea foto-termică rapidă au fost obținute pelicule nanostructurate și nanocompozite cu proprietăți noi senzoriale. Sa dovedit că prin procesarea PFTR poate fi modificată morfologia suprafeței și nanostructurile peliculei, schimbând radical rezistivitatea și proprietățile de senzor de gaze ca sensibilitate, selectivitatea și viteza de reacție la gaze.

1. TEHNOLOGIA PFTR

Tehnologiile noi în microelectronică și nanoelectronică constituie cerințe noi față de exactitatea proceselor tehnologice și bugetul termic și energetic.

Aceste tehnologii au fost inițiate începând cu anul 1986-1988 în SUA de savantul cunoscut R. Singh [1], iar în fosta URSS de savanții B. A. Lubanov [2] și T. S. Şişianu [3,4].

Tehnologiile cu procesarea termică rapidă (PTR sau RTP) și procesarea fonică rapidă (PFR, FTR, IFO) au devenit ca alternative față de celelalte convenționale [1-8]. În primul caz se realizează un tratament termic rapid (PTR sau RTP), unde factorii de decizie sunt temperatura (T) și durata (t). Prin optimizarea acestor doi parametri pot fi obținute rezultatele necesare pentru formarea profilurilor de concentrație după implantarea ionică, obținerea contactelor ohmice cu dimensiuni foarte mici, joncțiuni de suprafață, etc [1-9].

În cazul al doilea se utilizează procesarea foto-termică (PFTR), unde ca factori de decizie sunt nu numai temperatura (T) și timpul (t), dar și efectul cuantic ($h\nu$). În acest caz, în dependență de caracteristica spectrală a sursei de lumină factorul cuantic poate fi decisiv în procesul tehnologic. De exemplu, coeficientul de difuzie al impurităților în

semiconductori (Si, GaAs, InP, etc.) la procesarea termică rapidă este de zeci-sute de ori mai mare față de difuzia convențională în sobele termice [9].

Au fost obținute rezultate, dispozitive și structuri cu proprietăți noi, celule fotovoltaice, diode Schottky, dielectrice cu proprietăți noi, joncțiuni cu grosimi de nanometri în baza Si, GaAs, InP [6-9].

1.1. Baza fundamentală a procesării foto-termice rapide (PFTR)

Se cunoaște că odată cu creșterea temperaturii corpului negru, radiația electromagnetică emisă de el devine mai bogată în lungimi de undă scurte conform distribuției Planck. Puterea termică a radiației se exprimă ca [5]:

$$P = hf\Delta f \left(\frac{1}{e^{hf/kt} - 1} + \frac{1}{2} \right) \quad (1)$$

unde Δf este banda de frecvențe ocupată de modul de radiație, h este constanta Planck, k este constanta Boltzmann, T este temperatura absolută. În figura 1 sunt reprezentate două părți ale ecuației de mai sus ($\Delta f = 1$ și $T = 300\text{K}$). Factorul $\frac{1}{2}$ din ecuație este datorită contribuției energiei în punctul zero, care este un fenomen cuantic.

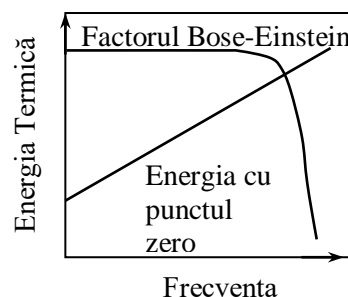


Figura 1. Dependenta energiei termice față de frecvența sursei de lumină.

Alt factor din paranteza ec. (1) este factorul Bose-Einstein, care descrie partea termică a radiației. Este evident din fig. 1 că în diapazonul de frecvențe mai

joase (la lungimi de undă mai mari), este dominantă partea termică, iar odată cu majorarea frecvenței începe să domine partea cuantică.

În publicații este arătat că fotonii cu lungimea de undă mai mare de 800 nm contribuie la efectele termice [6]. Fotonii din acest diapazon conduc la creșterea amplitudinii vibraționale a atomilor, ridicând temperatura peliculei și a substratului și are loc efectul termic dorit. Excitarea termică este mecanismul de bază în procesarea TCS când toți fotonii emiși au $\lambda > 0.8 \mu\text{m}$. Iar fotonii cu lungimea de undă mai mică de 800 nm contribuie cum la efectele termice așa și la cele cuantice. Aceștea excită atomii și moleculele, care sunt supuși tranziției și starea de bază în starea electronică excitată în urma activării fotonilor. Bazele teoriei și modelele procesării fotonice rapide sunt explicate în monografia [9].

În figura 2 este reprezentat diapazonul spectral al efectelor termice și cuantice [7 - 9].

La catedra de Microelectronică a UTM au fost elaborate instalații pentru procesarea fonică rapidă numite IFO-1 (1984), IFO-3 (1985), IFO-6 (1992), conectate cu microprocesoare și asigură regimuri programate: temperatura în intervalul $300 \div 1200^\circ\text{C}$ cu durata de impuls de $1 \div 100\text{sec}$.

1.2. Tehnologia procesării foto-termice rapide

Tratarea post-depunere sau post-oxidare este unul din cele mai importante procese aplicate pentru înlăturarea defectelor, descreșterea densității stărilor superficiale și îmbunătățirea proprietăților peliculelor de oxid anodic. Sistemele PFTR pe bază de lămpi halogene introduse ca o alternativă al echipamentului de procesare termică și asigură cicluri de o durată scurtă, expunere redusă și flexibilitate înaltă, comparativ cu sobele clasice. Bugetul termic alocat a fost micșorat odată cu dimensiunea dispozitivului. Cerințe stricte asupra reducerii bugetului termic și a timpului ciclului face ca procesarea termică rapidă (PTR sau RTP) să devină o metodă de procesare termică foarte populară în ultimii ani [9-14]. PFTR datorită efectelor cuantice permite obținerea rezultatelor necesare la temperaturi relativ mici.

Diagrama schematică a sistemului de procesare fototermică rapidă cu un sistem de vid care a fost utilizat în aceste cercetări este descrisă în detalii în lucrările [9-13].

Astfel probele de test au fost procesate în sistemul PFTR IFO-6 aplicând impulsuri cu durate stabilite experimental pentru fiecare caz concret și la temperaturile de 300, 400, 450, 500°C și 600°C în

diferite medii: în vid, în aer și în N_2 după cum este descris mai jos.

2. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Tehnologia procesării foto-termice rapide a fost aplicată pentru peliculele de ZnO , Cu_2O și SiO_2 . În continuare sunt prezentate rezultatele cercetării peliculelor de oxid de zinc pure și dopate cu impurități obținute prin tehnologia elaborată în baza metodei chimice, după cum este descris în lucrările [15-16,30], precum și impactul PFTR asupra caracteristicilor electrofizice și senzoriale ale lor. Am observat că PFTR influențează considerabil asupra stoichiometriei și structurii peliculelor inițiale. S-a dovedit că măsurările rezistivității electrice sunt foarte sensibile la schimbările stoichiometriei și structurii defectelor (vacanțe, impurități, atomi interstițiali și iregularități).

Relația dintre caracteristicile structurale și comportarea electrică a fost cercetată cu scopul de a înțelege cauzele modificărilor drastice ale rezistivității electrice când se schimbă condițiile de depunere, când se adaugă impurități la peliculele de ZnO și când se supun PFTR la diferite medii. Toate aceste variabile conduc la modificări drastice ale trăsăturilor microstructurale a peliculelor depuse, astfel ca densitatea (porositatea), texturizarea, dimensiune granulelor și morfologia. Ca consecințe, nu-i de loc ușor de cunoscut cum fiecare parametru afectează proprietățile electrice ale peliculelor.

Influența tratamentului post-depunere asupra rezistivității peliculelor de ZnO inițiale, netratate, au cea mai mare valoare a rezistivității electrice $\sim 10^6 \Omega\cdot\text{cm}$. Rezultatele obținute după tratamentul PFTR la 650°C în aer, în vid și în N_2 au permis de a observa că tratamentul termic în aer micșorează valoare rezistivității cu aproximativ un ordin al mărimii, iar tratamentul în atmosferă de N_2 are efecte profunde asupra rezistivității și o micșorează cu mai mult de două ordine a mărimii. Tratamentul PFTR în vid produce o rezistivitate de $\sim 10^4 \Omega\cdot\text{cm}$ a peliculelor de ZnO . Aceste rezultate fiind aplicate în elaborarea elementelor senzoriale.

Utilizând sistemul cu flux de gaz, descris în lucrările [17-19], au fost îndeplinite măsurările sensibilității față de gazul de test. Temperatura elementului sensibil a fost controlată cu precizie la 150 și 250°C utilizând un încălzitor controlat electronic. Pe parcursul măsurărilor sensibilității utilizând aparatul de testare la gazele, a căror concentrație poate fi controlată prin controloarele masei fluxului (MFC), au fost aplicați 10 V (d.c.) în circuit și au fost înregistrate valorile tensiunii de pe

rezistorul serie. Un computer cu o interfață convenabilă a dirijat toate procedurile de control și de achiziție a datelor.

Dependența sensibilității față de temperatura de operare a fost obținută prin alternarea aerului uscat și a gazelor de test la fiecare temperatură cu incremental de 50°C. Pentru a măsura reproductibilitatea și stabilitatea senzorilor aceștia au fost expuși la gazul de 1 ppm NO₂ și aer uscat la 150°C pentru câteva cicluri repetate alternativ. Aerul uscat și gazul NO₂ au fost menținute la un flux constant, 500 sccm, utilizând măsurătoarele masei fluxului și controlorul masei fluxului pe parcursul cercetărilor. Curbele de calibrare, adică relația dintre rezistența senzorului și concentrația de NO₂ au fost obținute pentru senzori prin variația concentrației gazului ce conține NO₂ de la 0.5 până la 1.5 ppm.

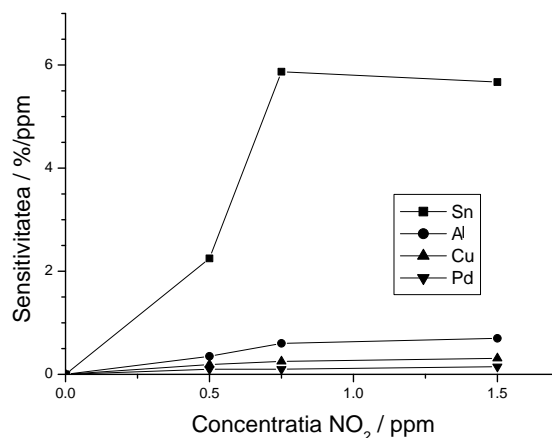


Figura 3. Dependența sensibilității față de concentrația NO₂ pentru 10 at.% Sn -zinc oxid și dopat cu Al, Cu, Pd.

De asemenea au fost studiate sensibilitatea oxidului de zinc dopat cu Sn, Cu, Al și Pd. În figura 3 sunt reprezentate sensibilitatea față de concentrația de NO₂ pentru senzorul pe bază de pelicule cu 10 at.% Sn -zinc oxid, și pe bază de pelicule de oxid de zinc dopate cu Cu, Al și Pd. Sensibilitatea senzorului pe bază de pelicule de oxid de zinc dopat cu Sn față de NO₂ a fost mai mare decât a celor dopate cu Cu, Al, Pd pentru diferite concentrații studiate la temperatura camerei și la 150°C. Sensibilitatea crește cu majorarea NO₂ până la 1 ppm și apoi ajunge la saturație.

Schimbările mari ale formei curbelor este transformată în sensibilitate ridicată față de gaz până la nivel de saturare. După cum este indicat în figura 3, sensibilitatea față de gazul de test crește cu concentrația gazului.

Figura 4 reprezintă răspunsul dinamic al peliculelor dopate cu 5 at% Sn față de 1.5 ppm NO₂ pentru diferite temperaturi (100°C și 150°C). Timpul de reacție este de 10-15 min la temperatura de 100°C și de 20-25 min la temperatura de 150°C.

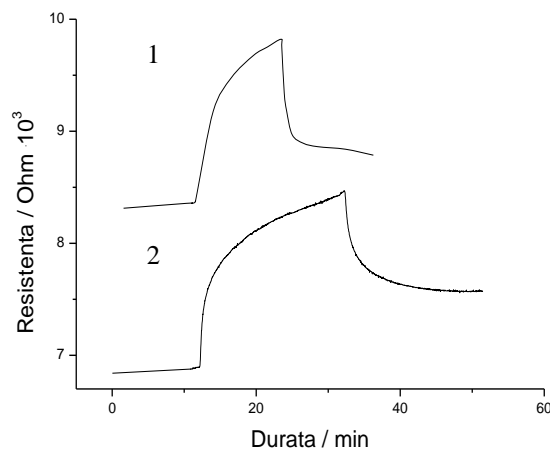


Figura 4. Răspunsul dinamic al elementului senzorului pe bază de pelicule de oxid de zinc dopate cu 5 at% Sn față de 1.5 ppm NO₂ : 1 – 100°C, 2 – 150°C.

Din rezultatele obținute se observă că peliculele de ZnO:Sn, obținute prin metoda dată, pot servi ca senzori eficienți față de NO₂; sensibilitatea lor depinde de controlul condițiilor de preparare și a gradului de dopare.

În Figura 5 este reprezentată dependența sensibilității față de temperatura de operare pentru diferiți compușii organici volatili (COV): acetonă, alcool, toluen.

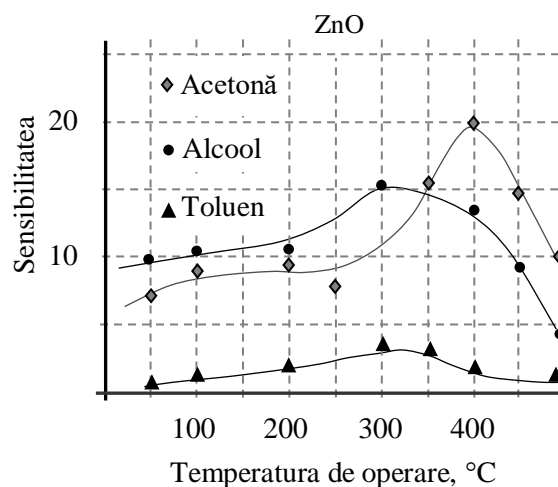


Figura 5. Dependența sensibilității față de temperatura de operare pentru diferiți compușii organici volatili: acetonă, alcool, toluen.

Se observă că sensibilitatea este maximală la temperaturile de 300-350°C pentru alcool și toluen și de 400°C pentru acetonă.

Cercetările experimentale demonstrează că PFTR este un instrument util pentru dirijarea cu proprietățile electrice, structurale, optice și senzoriale ale peliculelor subțiri de Cu_2O .

În figura 6 sunt reprezentate caracteristicile sensitive ale peliculelor de oxid de cupru expuse timp de 10 minute la sulfat SO_2 . După cum se vede PFTR determină stabilitatea peliculelor de oxid de cupru la SO_2 , dar în același timp reduce sensibilitatea la temperaturi mai mari de 70°C.

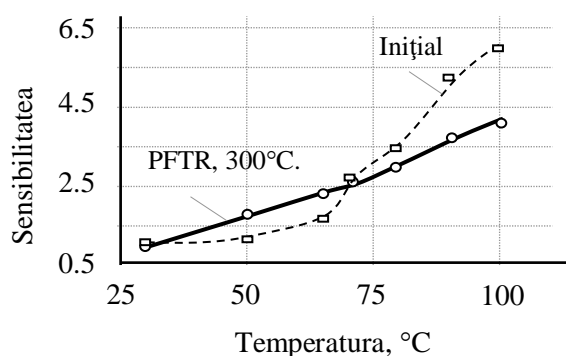


Figura 6. Dependența sensibilității la gazul SO_2 față de temperatura de operare ale elementelor sensitive pe bază de oxid de cupru.

Aceste elemente au fost cercetate și la sensibilitatea față de gazul nociv NO_2 . Figura 7 reprezintă sensibilitatea senzorilor în baza peliculelor de Cu_2O , cu ori fără tehnologia PFTR, față de 1.5 ppm NO_2 la diferite temperaturi de funcționare.

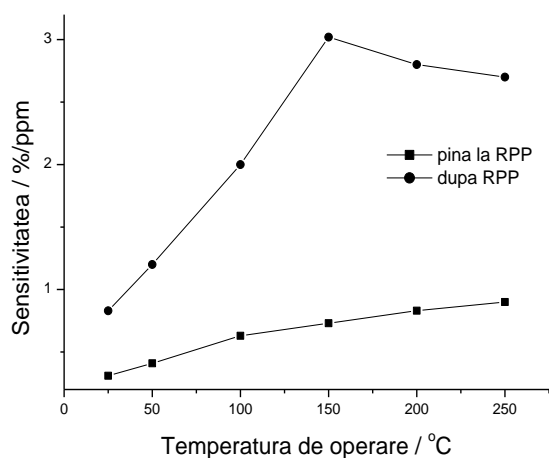


Figura 7. Sensibilitatea senzorului pe bază de Cu_2O față de 1.5 ppm NO_2 la diferite temperaturi de operare.

Conform rezultatelor obținute peliculele supuse PFTR au o sensibilitate cu mult mai mare față de probele fără PFTR, inclusiv și la temperatura camerei (22°C – 25°C).

Creșterea sensibilității poate fi explicată prin schimbările morfologice ale peliculei care au fost observate din micrografurile SEM [16].

Figura 8 reprezintă dependența față de gazul NO_2 a sensibilității senzorilor pe bază de Cu_2O fără PFTR și cu PFTR pentru două temperaturi de operare (150°C – 200°C).

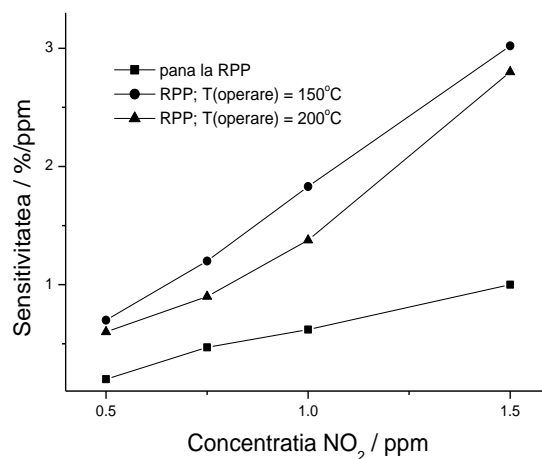


Figura 8. Sensibilitatea senzorului de Cu_2O față de concentrația NO_2 la diferite temperaturi de funcționare.

Pentru peliculele de oxid de cupru obținute prin depunerea chimică și procesare PFTR, schimbările rezistivității, respectiv și a sensibilității, poate fi cauzată de schimbările compoziției suprafeței stratului de oxid la chemisorbția moleculelor de gaz. Mecanismul detectării bioxidului de azot în senzorii testați la 150°C poate fi explicat prin chemisorbția și înlăturarea oxigenului adsorbit. Desorbția oxigenului este un factor limitator al descompunerii NO_2 la suprafața peliculei de oxid de cupru, ce determină majorarea timpului de restabilire după expunere și depinde de temperatura de operare.

De asemenea a fost cercetată influența procesării PFTR și asupra proprietăților peliculelor de oxid anodic MOS. Procedura de creștere anodică a SiO_2 este detaliat descrisă în lucrarea [12].

Rezultatele cercetărilor curbelor $hf\text{-CV-MOS}$, obținute la frecvența de 1 MHz, inițial au fost foarte neregulate datorită densității înalte a stărilor superficiale; pentru a îmbunătăți proprietățile lor valoarea tensiunii finale pe parcursul anodizării a fost menținută constantă până când curentul descrește la valoarea de 0.1 mA/cm². Aceasta a

condus la o îmbunătățire evidentă a caracteristicilor C-V.

Figura 9 reprezintă caracteristicile C-V la frecvențe înalte pentru structurile MOS (Al/peliculă de oxid anodic/substrat Si de n-tip), înainte și după PFTR la 450°C pentru 15s în mediu N₂ uscat. În regiunile de acumulare și de inversie se observă că capacitatea tinde spre o valoare de saturație egală cu capacitatea oxidului.

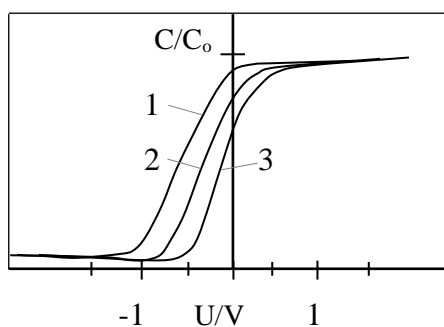


Figura 9. Caracteristica CV a structurilor MOS cu pelicule de oxid anodic pe n-Si; 1 – inițial și curbele 2 și 3 – după PFTR la 300 și 450°C timp de 15s în mediu N₂ respectiv.

Din măsurările C-V ale structurilor Al-MOS, obținute conform tehnologiei elaborate, au fost calculate densitatea sarcinilor superficiale pentru oxidul anodic conform metodei Terman [20]: inițial a fost de $5 \cdot 10^{11}$ sarcini electronice·cm⁻², iar după procesarea foto-termică rapidă pentru 15s la 450°C în mediu de N₂ uscat a devenit egală cu $1 \cdot 10^{11}$ sarcini electronice·cm⁻². Densitatea sarcinilor superficiale a oxizilor termici a fost de $2 \cdot 10^{11}$ sarcini electronice·cm⁻² inițial și de $6.7 \cdot 10^{10}$ sarcini electronice·cm⁻² după PFTR. Experiențele au arătat că densitatea sarcinilor superficiale nu depinde de grosimea peliculelor de SiO₂.

Densitatea stărilor la interfața Si/SiO₂ a oxidului termic a fost de $3 \cdot 10^{11}$ eV⁻¹·cm⁻² inițial și de $3 \cdot 10^{10}$ eV⁻¹·cm⁻² după PFTR, astfel obținând valori comparabile cu cele raportate în [21-23]. Reducerea trapele electronice după tratamentul termic rapid a fost observată și de alți autori [11,24-25]. Această reducere fiind, probabil, datorită tratamentului trapele existente în oxid. Pentru tratamentul executat la temperaturi mai ridicate a avut loc inducerea sarcinilor pozitive în oxid. O posibilitate de majorare a densității trapele (la temperaturi mari a tratamentului termic rapid și PFTR) este deficiența de oxigen. Se observă că tratamentul la temperaturi înalte în mediu inert cauzează o deficiență de oxigen în SiO₂ [11,26]. Adică are loc ruperea legăturilor Si-O normale, desorbția oxigenului și apariția trapele. Însă PFTR a fost

îndeplinită la temperaturi mai mici (<800°C) cu tratamentul termic convențional.

În experiențele noastre densitatea stărilor de interfață, determinată prin tehnica C-V, s-a micșorat odată cu creșterea temperaturii PFTR în mediu inert până la 450°C.

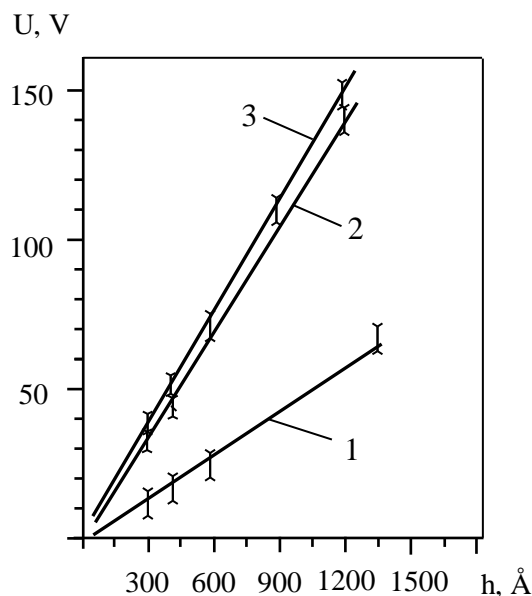


Figura 10. Tensiunea de străpungere a peliculelor de oxid anodic în funcție de grosimea oxidului, 1- inițial; 2 – primul set de probe cu PFTR la 450°C pentru 15s în mediu inert și 3 – cel de-al doilea set cu etapă de tratament PFTR pre-oxidare și post-oxidare la 450°C pentru 15s în mediu inert.

În continuare a fost studiat câmpul de străpungere al oxidului, care a fost determinat din considerentele tensiunii necesare pentru străpungerea catastrofică a structurilor MOS cercetate. Străpungerea peliculelor de SiO₂ a fost măsurată pentru tensiunea de polarizare pozitivă astfel încât suprafața n-Si de sub poartă a fost în acumulare. Câmpul de străpungere a oxidului termic, crescut în condiții industriale, este de $7 \cdot 10^6$ V/cm și este comparabil cu rezultatele publicate 10 MV/cm [27-28]. Câmpul de străpungere al oxidului anodic, preparat utilizând mixtura de KNO₂ și KNO₃ în etilenglicol și iluminate cu lumină ultravioletă, este de $4.5 \cdot 10^6$ V/cm similar datelor cu oxizii de cea mai bună calitate 8 MV/cm [29].

După PFTR a oxizilor timp de 15-20s la 450°C în mediu de N₂ câmpul de străpungere a oxizilor termici și anodici a crescut până la $1.1 \cdot 10^7$ V/cm și $1.0 \cdot 10^7$ V/cm, respectiv. Cea mai mare valoare a câmpurilor de străpungere a fost obținută la oxizii anodici subțiri, după PFTR: $1.2 \cdot 10^7$ V/cm pentru grosimea de 320Å (rata creșterii 5.1 Å·min⁻¹) după cum este arătat în figura 7.

Rezultatele obținute se explică prin rolul acțiunii factorilor termici (T) și atermici (cuantic, $h\nu$). La procesarea foto-termică rapidă (PFTR) odată cu încălzirea cristalului și mărirea amplitudinii de oscilare a atomilor (factorul termic), are loc excitarea și mărirea energiei sistemului de electroni (factorul cuantic, $h\nu$).

În acest caz are loc micșorarea energiei de activare a procesului de difuziune atomică și a reacțiilor chimico-fizice în timpul creșterii peliculelor. Datorită acestui fapt procesele tehnologice de creștere a peliculelor de oxizi (ZnO, Cu₂O, SiO₂, etc.), doparea lor cu impurități donoare și acceptoare și formarea morfologiei suprafeței lor pot fi realizate la temperaturi mai joase, în timp redus și cu o eficiență mai înaltă comparativ cu tehnologiile convenționale.

3. CONCLUZII

În această lucrare sunt prezentate rezultatele experimentale ale implementării tehnologiei cu procesare foto-termică rapidă pentru senzorii de gaze în baza semiconductorilor oxizi – ZnO, Cu₂O și a peliculelor de SiO₂.

Au fost obținute probe prin depunerea chimică a peliculelor subțiri de ZnO, Cu₂O pe diferite substraturi și cercetate caracteristicile electrofizice și proprietățile peliculelor înainte și după procesarea foto-termică rapidă.

Peliculele de ZnO supuse PFTR sunt sensibile față de gazul NO₂ la temperaturi relativ joase (150°C). Peliculele de Cu₂O depuse chimic și cu PFTR sunt sensibile față de NO₂ și la temperatura camerei. Grosimea peliculelor depinde de durata de depunere, compoziția soluției chimice și regimul tratamentului PFTR.

Sensibilitatea peliculelor de oxid de zinc dopate cu staniu au sensibilitatea mai înaltă față de cele dopate cu Al, Cu și Pd. Timpul de reacție al elementului sensibil ZnO cu 5at% Sn este de 10-15 min la temperatura de 100°C și de 20-25 min la 150°C. Sensibilitatea pentru ZnO atinge valori maxime la temperatura de 300-350°C pentru alcool și toluen, și la 400°C pentru acetonă.

Tratamentul PFTR liniarizează dependența sensibilității de temperatură. Variația proprietăților peliculelor de ZnO și Cu₂O sunt dependente de temperatura și durata PFTR, precum și de mediul de testare. Prin procesarea foto-termică rapidă este posibilă dirijarea sensibilității și selectivității peliculelor la diferite gaze (NO₂ și SO₂). În toate experiențele s-a constatat că factorul cuantic joacă un rol foarte important în formarea proprietăților

electrice și asigură performanțe mai înalte față de tratamentul convențional. Procesarea foto-termică rapidă a oxizilor de siliciu SiO₂ îmbunătățește proprietățile electrice și dielectrice, majorează valoarea tensiunii de străpungere pentru oxidul anodic până la 4-5·10⁶ V/cm; micșorează densitatea sarcinilor până la 6.7·10¹⁰ sarcini electronice/cm² pentru oxizi termici și de 1·10¹¹ sarcini electronice/cm² pentru oxizii anodici. Aceste rezultate pot fi implementate pentru obținerea performanțelor MOS și CMOS.

Datele experimentale confirmă că integrarea tehnologiilor chimice de depunere cu procesarea foto-termică rapidă asigură noi posibilități de obținere și formare a proprietăților avansate ale senzorilor de gaze în baza semiconductorilor oxizi.

Autorii aduc mulțumiri Prof. Univ., dr. hab. D. Țiuleanu pentru colaborările comune.

Bibliografie

1. Singh, R. *Rapid isothermal processing*, J. Appl. Phys., R59, p. 63, 1988.
2. Labunov, V. A., Borisenco V.E., Pacinin V.I. *Legirovanie poluprovodnicov radiaționno-stimulirovannoi difuziei*, Zar. Electr. Tehn. 1982, 11, 1986.
3. Șișianu, F. S., Čiaca, G. E., Sinisciuc, I. K. *Radiacionno-stimulirovannoi difuziei atomov v contacte metall-poluprovodnic*, FTP, t.12, v.4, s.674-677, 1985.
4. Șișianu, F. S., Ceban, V. V., Sinișuk, I.K. *Primenenie impulsnogo fotonogo otžjiga dlâ obrabotki polu-provodnicovih struktur. Troinje poluprovodniki i ih primenenie*, Kișinëv, Știința s. 215, 1987.
5. Marcuse, D. *Engineering Quantum Electrodynamics*, Ahrcourt, Brace & World Inc., p.200, 1970.
6. Singh, R., Sharangpani, R., Cherukuri, K. C., Chen, Y., Dawson, D.M., Poole, K.F., Rohatgi, A., Narayanan, S., Thakur, R.P.S. *Mat. Res. Soc.* 429, p. 81, 1996.
7. Singh, R., Parihar, V., Venkataraman, S., Poole, K.F., Rohatgi, A., Thakur, R.P.S., Rohatgi, A. *Changing from rapid thermal processing to rapid photothermal processing*, *Materials Science in Semiconductor Processing 1*, p. 219-230, 1998.
8. Șișianu, F. S., Ceban, V. V. *Modelirovanie i čislennii rascet profilei radiaționno-stimulirovannoi difuziei s ispolizovaniem impulsnogo fotonogo otjiga*, V sb.

Nizcotemperaturnoe legirovanie poluprovodnicovih i mnogoslouinih struktur microelektroniki, Ustinov, s.46, 1987.

9. **Șișianu, S.** Tehnologie neconvențională în microelectronică cu tratament fonic și difuzie stimulată// Monografie. Chișinău, Editura "Tehnica", 221 p, 1998.

10. **Halwa, H.L.** Handbook of low and high dielectric constant materials and their applications, vol.2, c.1, p. 1-57, 1999

11. **Paskaleva, A., Atanassova, E., Beshkov, G.** Rapid thermal annealing of SiO₂ for VLSI applications, J. Non-Cryst. Solids 187, p. 35-39, 1995.

12. **Shishiyanu, S. T., Lupan, O. I., Shishiyanu, T. S., Sontea V. P., Railean, S. K.** Properties of SiO₂ thin films prepared by anodic oxidation under UV illumination and rapid photothermal processing, Electrochimica Acta, Vol. 49, Iss. 25, p. 4433-4438, 2004.

13. **Șișianu, S.T., Șișianu, T.S., Railean, S.K.** Semiconductors, Traducere din Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov (Journal of Physics and Technic of Semiconductors), 36(5) p. 581, 2002.

14. **Bardwell, J., Clark, K. B., Mitchell, D. F., Bisailion, D. A., Sproule, G. I., MacDougall, B., Graham, M. J.** J. Electrochem. Soc., 140(8), p. 2135, 1993.

15. **Șișianu, T.S., Sontea V. P., Lupan, O. I., Șișianu, S.T., Railean, S. K., Pocaznoi, I.I.** Cuprous oxide films prepared by a low cost chemical deposition and photon annealing technique for sensors applications, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Microelectronics and Computer Science ICMCS-2002, vol.1 p. 288-292. 2002.

16. **Lupan, Oleg** Preparation of cuprous oxide thin films by chemical deposition and rapid photothermal processing technique, Meridian Ingineresc, 1, p. 45-51, 2004.

17. **Miron, V., Marian, S., Țiuleanu, D., Țiuleanu, C.** Studiul sensibilității tetrasulfurii de arsen către unele gaze poluante, Anale Științifice, p. 177-180, 2000.

18. **Radomir Cabala, Veit Meister, Karin Potje-Kamloth,** J. Chem. Soc., Faraday. Trans., vol.93, p. 131-137, 1997.

19. **Popescu, M., Andries, A., Ciumas, V., Iovu, M., Sutov S., Tsiuleanu, D.** Ge-As-Te-based gas sensor selective to low NO₂ concentrations, Fizica Sticlelor Chalcogenice, Stiinta, Bucuresti-Chisinau, 1996.

20. **Terman, L. M.** Solid-State Electronics, 5, p. 285, 1962.

21. **Morita, M., Kubo, T., Ishihara, T., Hirose, M.** Fluorine-enhanced thermal oxidation of silicon in the presence of NF₃, Appl. Phys.Lett. 45(12), p. 1312-1314, 1984.

22. **Zhe S. M.** Physics of Semiconductor Devices, 2nd edn. Wiley, 1981.

23. **Hung, T.F., Wong, H., Cheng, Y.C., Pun, C.K.** A new design of anodic oxidation reactor for high-quality gate oxide preparation, J.Electrochem.Soc., vol.138(12), p. 3747-3750, 1991.

24. **Fukuda, H., Arakawa, T., Ohno, S.** IEEE Trans.Electr.Dev. 39, 137, 1992.

25. **Lee, S.K., Kwong, D.L., Alvi, N.S.** J. Appl. Phys. 60, 3360, 1986.

26. **Balk, P., Aslam, M., Young, D.R.** Solid State Electron., 27, p. 709, 1984.

27. **Irene, E.A.** Philos.Mag., B55, p. 131, 1987.

28. **Albella, J.M., Montero, I., Sanchez, O., Martinez, J.M.** J.Electrochem. Soc. 133, 876, 1986.

29. **Hung, T.F., Wong, H., Cheng, Y.C., Pun, C.K.** A new design of anodic oxidation reactor for high-quality gate oxide preparation, J.Electrochem.Soc., vol.138(12), p. 3747-3750, 1991.

30. **Șișianu, T., Lupan, O., Șișianu, S., Railean, S., Beșliu, V.** High sensibility gas sensors on the Al-doped zinc oxide thin films prepared by chemical deposition and photon annealing, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Microelectronics and Computer Science ICMCS-2002, vol.1 p. 292-296. 2002.

Recomandat spre publicare: 27.09.04