

Invenția se referă la procedeele de obținere a materialelor semiconductoare și poate fi utilizată în tehnologia semiconductoare.

Straturile subțiri de oxid de zinc (ZnO) posedă un potențial aplicativ divers. Pulverizarea magnetron a țintelor ceramice este o metodă relativ simplă și ieftină de obținere a straturilor de ZnO cu rezistivitatea redusă, dar pentru aceasta este nevoie de ținte ceramice cu un nivel înalt de dopare (impuritățile tipice sunt Al sau Ga), și cu uniformitate înaltă de dopare în tot volumul țintei. Prepararea țintelor ceramice reprezintă cea mai costisitoare etapă din obținerea straturilor subțiri de ZnO și a diferitor utilaje electronice în baza acestor straturi.

Este cunoscut un procedeu de obținere a ceramicii de ZnO dopate cu Al prin tratarea termică a pulberii de ZnO+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> la temperaturi  $\geq 1300^{\circ}\text{C}$  în aer [1]. În așa mod pot fi obținute țintele ceramice ce posedă parametri necesari pulverizării magnetron: rezistivitatea  $< 102 \Omega\cdot\text{cm}$ , duritatea  $\geq 1 \text{ GPa}$  și densitatea  $> 4 \text{ g/cm}^3$ . Dezavantajele acestei metode sunt: (i) necesitatea utilizării tehnologiei presiunii înalte la presarea pulberii inițiale (presiunea recomandată de cel puțin  $800 \text{ kg/cm}^2$ ); (ii) efectul micșorării dimensiunilor (diametrului) ceramicii în procesul de tratare termică, atingând  $\sim 20\%$ ; (iii) dificultăți tehnologice de re-creștere a volumului țintei deja utilizate, parțial evaporate, adică dificultățile ceramicii reutilizabile; (iv) necesitatea tratării termice la temperaturi înalte de  $1300\text{-}1500^{\circ}\text{C}$ , pentru a obține o duritate și densitate destul de înaltă a țintelor; (v) rata scăzută de solubilitate a impurității Al în ceramică, care contribuie la eterogenitatea mare a materialului rezultat și la necesitatea utilizării nanopulberilor scumpe de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (vi) ceramica obținută are un exces de oxigen, ceea ce crește rezistivitatea straturilor subțiri de ZnO obținute prin pulverizarea magnetron a unor astfel de ceramice.

Este cunoscut un procedeu de obținere a ceramicii de ZnO dopate cu impuritatea de Ga, care constă în sinterizarea pulberilor de ZnO+Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> în volum închis, utilizând reacțiile chimice de transport și HCl în calitate de agent de transport, la temperatura de sinterizare cu valoarea de  $900\text{-}1150^{\circ}\text{C}$  [2]. Prin această metodă la temperatură joasă poate fi obținută ceramică omogenă, fără exces de oxigen. Dezavantajele acestei metode sunt: (i) costul înalt al Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (ii) straturile subțiri de ZnO:Ga, obținute prin pulverizarea magnetron a unor astfel de ceramice ZnO:Ga, sunt mai puțin transparente în comparație cu straturile de ZnO:Al. Din acest motiv, ceramica ZnO dopată cu Al are o utilizare practică mai largă în optoelectronică.

Problema care o rezolvă invenția constă în elaborarea tehnologiei de sinterizare a ceramicii de ZnO:Al la temperatură scăzută  $\leq 1150^{\circ}\text{C}$ , care să asigure obținerea ceramicii ce posedă parametri necesari pulverizării magnetron (rezistivitatea  $< 102 \Omega\cdot\text{cm}$ , duritatea  $\geq 1 \text{ GPa}$  și densitatea  $> 4 \text{ g/cm}^3$ ), care nu ar necesita folosirea nanopulberilor scumpe de dopant.

Procedeu de obținere a ceramicii de ZnO:Al constă în sinterizarea pulberilor de ZnO și Al în cantitate de 0,5-6 at.% prin reacție chimică de transport într-un volum închis la o temperatură de  $900\text{-}1150^{\circ}\text{C}$ , timp de 24-72 de ore, în calitate de agent de transport se utilizează HCl cu presiunea inițială de 0,1-6 atm.

Rezultatul tehnic al invenției constă în: diametrul ceramicii ZnO:Al de  $99\pm 1\%$  din diametrul pulberii inițiale, duritatea înaltă de  $1,0\pm 0,3 \text{ GPa}$ , densitatea înaltă de  $4,3\pm 0,3 \text{ g/cm}^3$ , rezistivitatea redusă de  $7\cdot 10^{-2} \Omega\cdot\text{cm}$ , doparea uniformă cu un dopant de Al mult mai ieftin.

Rezultatul tehnic se datorează următorilor factori:

(i) Diametrul ceramicii este condiționat de diametrul camerei de sinterizare folosite. Schimbarea diametrului nu se produce din cauza reacțiilor chimice de transport a materialului pe fundul camerei de sinterizare.

(ii) Duritatea și densitatea înaltă ale ceramicii se datorează folosirii HCl, asigurând eficiența reacției de transport chimic la temperatura relativ mică de  $900\text{-}1150^{\circ}\text{C}$ .

(iii) Uniformitatea înaltă și rezistivitatea redusă ale ceramicii obținute sunt condiționate de impuritatea donoră de Al. Au loc următoarele reacții chimice:  $\text{Al} + 3\text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3 (\text{gaz}) + 3/2\text{H}_2$ ,  $2\text{AlCl}_3 (\text{gaz}) + 3\text{ZnO} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{ZnCl}_2$ ; Al, interacționând cu HCl, se transformă în vapori de AlCl<sub>3</sub>, care difuzează rapid în particule de ZnO și reacționează cu acesta, generând Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, urmând doparea uniformă a materialului sinterizat cu oxid de aluminiu. Aceste reacții chimice fac posibilă doparea ceramicii ZnO la temperaturi relativ scăzute de  $900\text{-}1150^{\circ}\text{C}$ . Micșorarea temperaturii de sinterizare principal ușurează și evită cheltuielile mari de producere a ceramicii de ZnO:Al. Pulberea de Al este de câteva zeci de ori mai ieftină decât nanopulberea de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și pulberea de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Aceasta reduce cheltuielile la producerea straturilor subțiri de ZnO:Al și a utilajelor în baza acestora. Rezistivitatea redusă a ceramicii se atinge în condiția când concentrația Al nu e mai mare de 6 at.%. La concentrații mai mari, sinterizarea ceramicii este mai slabă; duritatea, densitatea și conductivitatea scad.

Acest procedeu cuprinde următoarele etape tehnologice: confecționarea camerei de sinterizare din cuarț; încărcarea pulberii de ZnO+Al cu o presare ușoară prin placa de cuarț superioară la presiunea  $\sim 1 \text{ kg/cm}^2$ ; vacuumarea prealabilă a camerei de sinterizare până la o presiune de cel mult 10-1 Torr pentru degajarea (curățarea) pereților fiolei și a materialului sinterizat; încărcarea transportatorului chimic; instalarea camerei de sinterizare în cuptorul electric la temperatura camerei; instalarea camerei de sinterizare în cuptorul electric la temperatura camerei; instalarea în cuptor a termocuplului de control (de exemplu, de tipul platină/platină-rodii); încălzirea cuptorului electric până la temperatura necesară; tratarea termică a camerei de sinterizare la temperatura de  $900\text{-}1150^{\circ}\text{C}$  și durata de 24-72 ore; răcirea cuptorului electric până la temperatura camerei cu viteza de  $10\text{-}300^{\circ}\text{C/oră}$ ; extragerea camerei de sinterizare din cuptorul electric.

Invenția este explicată prin figurile 1-4, care reprezintă:

- fig. 1, schema cuptorului electric folosit, profilul axial al temperaturii acestuia și schema camerei de sinterizare (1 – tubul de ceramică al cuptorului, 2 – bobina electrică de încălzire, 3 – izolatorul termic, 4 – profilul axial de temperatură a cuptorului, 5 – termocuplul, 6 – fiola din cuarț, 7 – materialul în sinterizare, 8 – placa de cuarț superioară);
- fig. 2, aspectul exterior al ceramicii de ZnO:Al, obținute cu ajutorul HCl în calitate de agent transportator la 1080°C;
- fig. 3, dependența rezistivității ceramicii de ZnO:Al de concentrația Al;
- fig. 4, dependența rezistivității straturilor subțiri de ZnO:Al de țintele ceramice folosite (concentrația de Al în ținte = 2 at.%, temperatura de depunere = 200 °C, grosimea = 700 nm): ZnO – ceramică fără doparea cu Al, ZnO:Al – ceramică dopată cu Al și sinterizată în aer (cu exces de oxigen și fără impuritate suplimentară de Cl), ZnO:Al(HCl) - ceramică obținută cu ajutorul HCl, în calitate de agent de transport (fără exces de oxigen și cu impuritate suplimentară de Cl).

#### *Exemplu de realizare a invenției.*

Pe tubul din ceramică 1 (Fig. 1) cu diametrul de 5 cm și lungimea de 60 cm se îmbobinează o bobină electrică 2 cu densitatea de rezistență 0,5 Ω/cm, protejată de un izolator termic 3 pentru obținerea unui profil axial de temperatură de formă parabolică 4, controlată cu termocuplul 5. Fiola din cuarț 6 are un diametru intern de 2,5 cm, o înălțime de 10 cm și un volum de 50 cm<sup>3</sup>. În camera de sinterizare pulberea de ZnO+Al 7 (cu o greutate totală =3 g și cu concentrația de Al =2 at.%) este încărcată și presată ușor între fundul plat al fiolei și placa de cuarț superioară 8 la presiunea ~1 kg/cm<sup>2</sup>. Fiola este vacuumată până la o presiune de 10-1 Torr pentru degajarea (curățarea) pereților fiolei și a materialului sinterizat, agentul de transport HCl cu presiunea de 1 atm este încărcat în ea, fiola este sigilată și introdusă în cuptor. Camera de sinterizare se instalează în cuptor astfel încât temperatura vârfului de sinterizare a fiolei (T<sub>sinterizare</sub>) este cea mai scăzută temperatură, pentru a preveni transportul chimic al ZnO în vârful fiolei și gradientul de temperatură în regiunea de sinterizare ≤10°C/cm (Fig. 1). Se efectuează sinterizarea timp de 24-72 de ore la temperatura materialului sinterizat de 1080°C, în urma căreia se petrece procesul de sinterizare a pulberilor de ZnO+Al la fundul camerei. În procesul de sinterizare se obține ceramica (Fig. 2) cu o duritate necesar înaltă de 1,0±0,3 GPa, densitatea înaltă de 4,3±0,3 g/cm<sup>3</sup>, și rezistivitatea redusă de 7·10<sup>-2</sup> Ω·cm (Fig. 3). Rezistivitatea atât de scăzută se datorează impurităților de Al și lipsei excesului de oxigen.

Straturile subțiri de ZnO, obținute prin metoda pulverizării magnetron a ceramicii ZnO nedopate, au rezistivitatea de aproximativ 10<sup>-2</sup> Ω·cm (Fig. 4, ZnO). În cazul când se utilizează ceramică de ZnO:Al sinterizată în aer (conținând exces de oxigen, fără impuritate suplimentară de Cl), rezistivitatea straturilor subțiri de ZnO este ~10<sup>-3</sup> Ω·cm (Fig. 4, ZnO:Al). Rezistivitatea straturilor subțiri de ZnO depuse cu utilizarea țintelor ceramice obținute cu ajutorul HCl are valoarea de 4·10<sup>-4</sup> Ω·cm (Fig. 4, ZnO:Al(HCl)). Rezistivitatea mai scăzută a unor astfel de straturi se datorează absenței excesului de oxigen în ceramică și prezenței unei impurități suplimentare de Cl.