

**Descriere:**

Invenția se referă la tehnologia semiconductorilor și poate fi utilizată pentru obținerea materialelor electronicii semiconductoare.

În domeniul tehnologiei semiconductorilor sunt cunoscute procedee și instalații pentru obținerea heterosistemelor prin metoda epitaxială din fază gazoasă, cu utilizarea compușilor metaloorganici toxici [1].

Dezavantajele constau în puritatea insuficientă, pericolul iminent la desfășurarea procesului și cheltuielile considerabile.

Sunt cunoscute, de asemenea, procedee și instalații destinate obținerii structurilor periodice stratificate (superrețele) în sisteme cu cloruri ce servesc ca bază a dispozitivelor semiconductoare moderne [2, 3].

Un dezavantaj este și grosimea excesivă a heterojuncțiunii.

Cea mai apropiată soluție tehnică, adică cel mai apropiat analog este procedeul de obținere a structurilor epitaxiale stratificate, care include creșterea epitaxială succesivă a straturilor diferiților compuși în fluxuri de gaze corespunzătoare și instalația de obținere a straturilor epitaxiale  $A_3B_5$  în sistemul cu hidruri ce include un reactor în care sunt amplasate camere de creștere, nod de fixare a substraturilor și mecanism de transferare a substraturilor unite cu tija [4].

În cazul dat se asigură creșterea succesivă a straturilor diferiților compuși prin transferarea substraturilor în fluxuri diferite de gaze în decursul aceleiași experiențe, fără întreruperea creșterii, fără transferarea substraturilor în flux de gaz inactiv (fără etapa de autoorganizare a suprafeței de creștere).

În cazul dat este descrisă posibilitatea de creștere a soluțiilor pure  $A_3B_5$ ,  $A_3C_3B_5$  și  $A_3C_3B_5D_5$  în intervalul de temperaturi 650-850°C, în special - obținerea straturilor cu grosimea mai mică de 100Å și cu grosimea heterojuncțiilor de 30Å în compușii  $A_3B_5$ . S-a cercetat obținerea compușilor tripli și cuaternari, necesari pentru heterosisteme stratificate. Este descris exemplul structurii pentru tranzistorii cu efect de câmp, fotodiodă și diodă cu avalanșă.

La dezavantajele procedurii și instalației pentru obținerea structurilor stratificate se referă pericolul iminent, cheltuielile mari, precum și grosimea excesivă a heterojuncțiilor.

Problema pe care o rezolvă invenția constă în obținerea structurilor epitaxiale stratificate cu grosimea mai mică de 20 Å.

Procedeul, în corespundere cu invenția, înlătură dezavantajele enumerate prin faptul că în procedeul de obținere a structurilor epitaxiale stratificate, care include creșterea epitaxială succesivă a straturilor diferiților compuși în fluxuri de gaze corespunzătoare, după creșterea fiecărui strat suprafața de creștere se plasează într-un flux de gaz inactiv până la creșterea stratului următor.

Instalația, conform invenției, înlătură dezavantajele enumerate prin aceea că include reactor în care sunt amplasate camere de creștere, ultimele fiind legate cu tijă, nod de fixare a substraturilor și mecanism de transferare a camerelor de creștere unite cu tija, nodul de fixare a substraturilor este realizat în formă de polițe plasate în țevi, situate una deasupra alteia la o distanță care nu depășește lungimea de difuzie minimă a gazelor utilizate.

În cazul dat este important faptul că la deplasarea în diferite fluxuri de gaze mediul gazos nemijlocit deasupra suprafeței de creștere este inactiv, deci se întrerupe creșterea și se realizează etapa de autoorganizare a suprafeței de creștere.

Rezultatul tehnic constă în asigurarea posibilității de creștere a structurilor epitaxiale stratificate cu profil abrupt al componenței.

La etapa aflării suprafeței de creștere în flux de gaz inactiv, până la depunerea stratului ulterior, procedeul permite decurgerea proceselor superficiale de încadrare în rețea a componentelor stratului anterior și autoorganizarea suprafeței ultimului. Aceasta se asigură prin faptul că în timpul rotației noului nod de fixare a substraturilor de la o cameră la alta liniile fluxurilor de gaze încercuiesc substraturile, deci nu sunt furnizați noi reagenți la suprafața de creștere.

Invenția este explicată prin figuri, unde:

în fig. 1 este prezentată schema instalației de obținere a structurilor epitaxiale,

în fig. 2 - nodul de fixare a substraturilor,

în fig. 3 - secțiunea A-A a camerei de creștere,

în fig. 4 - secțiunea B-B a senzorilor de poziție,

în fig. 5 - secțiunea C-C a nodurilor de fixare,

în fig. 6 - secțiunea D-D a surselor soluțiilor solide necesare,

în fig. 7 - spectrul Auger al structurii stratificate obținute GaAsP/GaAs.

Procedeul se realizează cu ajutorul instalației tehnologice pentru obținerea structurilor epitaxiale stratificate prezentate în fig. 1-6.

Instalația include reactorul (un tub de cuarț cu diametrul 100 mm) (1), în care sunt amplasate camere cu surse (2), separate între ele de un spațiu purjat pentru stoparea difuziei încrucișate a componentelor fazei gazoase, camere de creștere (3), executate în aceeași geometrie cu camerele surselor (2), legate cu tijă (4), nod de fixare (5) în formă de polițe (6) pentru fixarea substraturilor (7), plasat în țevi (8), ștuț de intrare a gazelor (9) și ștuț de evacuare a gazelor (10), capacul reactorului (11), mecanism de acționare (12) a camerelor de creștere (3) care conține motor (13) cu reductor (14), sensori de poziție (15), calculator (16), cuptorul electric (17), care permite să obținem distribuția necesară a temperaturii.

S-au obținut atât soluții solide  $GaAs_{1-x}P_x$  și GaAs cât și superrețele GaAs/GaAsP la temperaturi joase, folosind una din modificările tehnologiei cu cloruri. S-a cercetat influența regimului tehnologic asupra posibilității obținerii straturilor epitaxiale subțiri (până la 3 μm)  $GaAs_{1-x}P_x$  pe GaAs și GaAs pe  $GaAs_{1-x}P_x$  cu suprafața cristalină perfectă, valabile pentru obținerea heterojuncțiilor calitative.

Pentru obținerea structurilor epitaxiale stratificate pe baza semiconductorilor GaAs și GaAsP în camerele surselor (2) au fost amplasate sursele. Sursele constau din GaAs și GaP policristalin ce permit, la interacțiunea cu reagenții, de a obține compusul soluțiilor solide necesar  $GaAs_{1-x}P_x$ ,  $GaAs_{1-x}P_y$  și GaAs (fig. 6). Prezența celor trei camere de creștere (3) permite a mări nivelul informativ al experienței și a obține, paralel cu structura programată, două auxiliare, legate (genetic) în timp cu prima. Asemenea informație suplimentară permite a reduce numărul experiențelor necesare pentru obținerea parametrilor de epitaxie optimi.

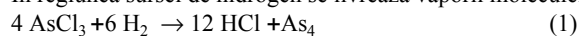
Pentru superrețeaua GaAsP/GaAs, căpătată ca exemplu de utilizare a procedurii, este prezentat în fig. 7 spectrul Auger, iar în calitate de surse s-au folosit GaAs și combinația GaAs policristalin și GaP, care dă compusul  $GaAs_{0,65}P_{0,35}$ .

Deviația compoziției chimice a surselor compușilor ternari nu depășea 0,03%/h. Substraturile (7) GaAs cu orientația (100)  $4^\circ(110)$  și (311) se prelucrau în corodant  $H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O = 5:1:1$ , se spălau în apă deionizată, se uscau în vapori de propanol și se fixau în nodul de fixare, construcția căruia este indicată în fig. 2, unde substraturile (7) sunt aranjate pe polițele (6) situate una peste alta la o distanță ce nu depășește lungimea de difuzie a gazelor utilizate. Nodul de fixare (5) împreună cu substraturile (7) se amplasează în camera de creștere (fig. 3) prin intermediul tije (4) ce trece prin capacul reactorului (1) conectat la reductorul (14). După fixarea capacului (11) pe reactorul (1) (fig. 1) prin ștuțul de intrare (9) este furnizat hidrogen molecular care contribuie la eva-

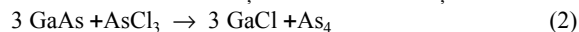
cuarea aerului atmosferic din reactorul (1) prin ștuțul de evacuare (10), iar după evacuarea aerului se introduce cuptorul electric (17) pentru obținerea regimului termic optim.

Temperaturile optime ale sursei și substratului în cazul dat sunt respectiv de 620°C și 580°C. După atingerea acestui regim termic, anticipând procesul de creștere, la temperatura de 580°C, substraturile (7) timp de 5 min sunt supuse corodării chimice în amestecul gazos  $\text{AsCl}_3 + \text{H}_2$  cu  $\text{PM} = 2 \cdot 10^{-3}$  (PM - partea molară  $\text{AsCl}_3$  în  $\text{H}_2$ ). În consecință are loc înlăturarea oxigenului de pe suprafață și o corodare slabă a substraturilor. Nemijlocit după corodarea chimică prin ștuțul de intrare (9) se livrează amestec gazos activ în camerele surselor cu temperatura de 620°C.

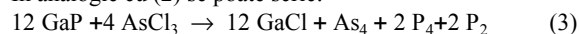
În regiunea sursei de hidrogen se livrează vaporii moleculelor  $\text{AsCl}_3$ :



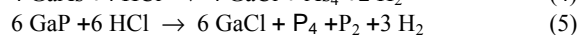
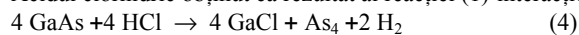
La temperaturi joase,  $t < 700^\circ\text{C}$ , reacția de descompunere decurge lent și o parte din molecule interacționează direct cu sursa. În acest caz eficacitatea interacțiunii e mai înaltă față de cea cu HCl:



În analogie cu (2) se poate scrie:



Acidul clorhidric obținut ca rezultat al reacției (1) interacționează cu sursa:



Faza gazoasă, obținută conform (1) - (5), duce la creșterea epitaxială a soluțiilor solide  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  în zona de depunere. Compoziția s-a determinat din experiențele de fotoluminescență și difracție a razelor X. Morfologia straturilor epitaxiale se schimbă în dependență de orientarea substratului și parametrilor de creștere. S-a constatat că cele mai perfecte rezultate au fost obținute pentru fluxurile de 150  $\text{cm}^3/\text{min}$  pe suprafața (100).

Timpul de creștere a stratului este programat și dirijat de calculatorul (16). După creșterea primului strat la comanda calculatorului (16) are loc rotația tije (4) până când camera de creștere (3) coincide cu altă cameră a sursei (2) și începe procesul de creștere a stratului următor. Procesul se repetă în dependență de programul calculatorului. Transferarea de la o sursă la alta se efectuează cu diferite viteze, timpul de deplasare fiind de 1-2 s. Timpul de creștere a fiecărui strat, numărul de straturi, direcția deplasării camerei de creștere de la o sursă la alta sunt programate și dirijate de calculator. După terminarea ciclului de creștere în reactorul (1) nu se furnizează gazul activ, iar cuptorul se deconectează. Când se atinge temperatura camerei capacul reactorului se deschide.

Au fost obținute structuri stratificate  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x/\text{GaAs}$ . Grosimea stratului de tranziție pentru viteze de creștere 3-5  $\text{Å}/\text{s}$  era de 9-15  $\text{Å}$  (fig. 7).

În comparație cu straturile singulare  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  în varianta cu structuri stratificate starea tensionată a sistemului este mult mai complicată. Dislocațiile de neconcordanță încep să apară la grosimi de ordinul 400  $\text{Å}$ . Dependența calității suprafeței structurilor stratificate  $\text{GaAs}/\text{GaAs}_{0,65}\text{P}_{0,35}$  de grosimea fiecărui strat și vitezele fluxurilor în regiunea substratului se identifică bine. Pentru vitezele fluxurilor de gaze de 140  $\text{cm}^3/\text{min}$  pe suprafața structurilor cu grosimea straturilor mai mare se evidențiază fășii transversale scurte cauzate de dislocații de neconcordanță. Ele devin centre de formare a planurilor noi. Odată cu creșterea fluxului de gaz se mărește și densitatea dislocațiilor, ceea ce se explică prin faptul că în acest caz se micșorează timpul rezervat etapei de autoorganizare a suprafeței de creștere. În direcțiile (100) și (110) apar linii de alunecare perpendiculare dislocațiilor de neconcordanță. Același tablou se repetă constant într-un număr mare de experiențe. Deci, pentru structurile stratificate  $\text{GaAs}/\text{GaAs}_{0,65}\text{P}_{0,35}$  obținute pe substraturile  $\text{GaAs}$  (100) $^4$ (110), grosimea straturilor de 380-400  $\text{Å}$  este aproape de cea critică. Structuri cu straturi de perfecțiune cristalină au fost obținute, de asemenea, pe substraturi cu orientarea (311). Secțiunea structurilor obținute a fost studiată cu ajutorul microscopului electronic cu rastru de tip REM.

Procedul dat și instalația pentru obținerea structurilor epitaxiale stratificate oferă posibilitatea obținerii materialelor fără dislocații, conceperea detaliată a mecanismului de formare a dislocațiilor în sisteme cu rețele neacordate și, în final, conduce spre obținerea claselor absolut noi de materiale sintetice - superrețele cu straturi tensionate, ce reprezintă baza microelectronicii cuantice și nanoelectronicii.