

## PROCESUL TERMIC DE ALIERE A STRATURILOR EPITAXIALE DE ARSENIURĂ DE GALIU CU COMANDĂ AUTOMATĂ

Baranov S.<sup>1</sup>, Cojuhari I.<sup>2</sup>, Gorceac L.<sup>1</sup>, Radu P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitatea de Stat din Moldova

<sup>2</sup>Universitatea Tehnică a Moldovei

<sup>3</sup>Centrul de Știință și Inginerie "Informinstrument" S.A.

[sbaranov2002@yahoo.com](mailto:sbaranov2002@yahoo.com)

**Abstract.** *The automatic control system for thermal alloying process of GaAs epilayers growth by transport reaction in Ga-AsCl<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> system is reported. The control system was built on universal two-channels programmable PID-regulator TRM15-01 bases, which permits automatic control of complicated objects with high precision. The experimental technologist's program contains steps of p<sup>+</sup> - p<sup>0</sup> - n<sup>+</sup> photovoltaic structures achievement with damper layer on p-GaAs substrate. Utilizing the change steps the technologist has the possibility to obtain multiple periodical epitaxial layers structures with different dimensions and electrophysical properties, including nano-dimension structures. This control system minimizes the new technologies elaboration terms, accelerates the implantation of the elaborated technology in industry by diminishing production costs, increasing the product quality and his market competitiveness.*

**Cuvinte-cheie:** *epitaxial GaAs, alloy automatic control*

### I. Introducere

Tehnologia de epitaxie a straturilor semiconductoare de tip A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> cu transport de reacții (HVPE) este considerată una din cele mai pure tehnologii aplicate în industria microelectronică [1]. Cercetările privind arseniura de galiu (GaAs) au demonstrat, că utilizarea acestei tehnologii în industria elementelor semiconductoare discrete permite fabricarea straturilor semiconductoare omogene groase (80-100 μ) cu suprafața de până la 4 țoli în diametru pentru dispozitive competitive pe piață ca redresoare de putere ultrarapide de temperatură înaltă [2], convertizoare de tensiune înaltă [3], supresoare ultrarapide [4] precum și dispozitive optoelectronice.

Suprafețe extinse de straturi epitaxiale omogene de GaAs obținute prin tehnologia HVPE pot fi utile și pentru fabricarea industrială a celulei fotovoltaice (CFV) de energie solară concentrată [5]. Energie solară de intensitate sporită (mare), de exemplu în instalațiile heliotehnice, schimbă esențial condițiile de exploatare a elementelor fotovoltaice, în special extinde intervalul de temperatură mai sus de 340 C și generează pentru constructorii de panouri fotovoltaice (PFV) probleme privind selectarea materialelor semiconductoare și complementare. De exemplu, pentru funcționarea efectivă a CFV este necesar ca coeficientul optic de absorbție a stratului activ a semiconductorului să fie destul de mare pentru acumularea energiei luminii solare în limitele grosimii stratului activ. Peste 50% din această energie se transformă în căldură și ridică temperatura CFV, care în condițiile energiei solare concentrate atinge valori impunătoare și exclude utilizarea materialelor semiconductoare combinate cu diferite dimensiuni ai rețelei cristaline. Ca urmare, avem GaAs, ca unul din cele mai perspective materiale semiconductoare pentru fabricarea CFV de energie concentrată. GaAs are o capacitate de absorbție a energiei solare mare, și cere un strat cu grosimea de doar câțiva microni, are o bandă energetică interzisă (1,43 eV) practic ideală pentru CFV cu o singură joncțiune și, cel mai important, acest material semiconductor este utilizat în prezent pe scară industrială.

Una din perspectivele de majorare în continuare a eficienței de conversie a energiei solare a CFV din GaAs este implementarea straturilor periodice nano-structurate în zona activă a dispozitivului cu scopul realizării aplicative a efectelor cuantice. În acest raport este prezentată o variantă tehnologică cu comandă automată de obținere a straturilor cu concentrație controlată din GaAs prin tehnologia HVPE cu două elemente de aliere (Zn, Te) în sistemul  $\text{AsCl}_3 - \text{Ga} - \text{H}_2$ .

## II. Regimul de formare a p-n joncțiunii cu comandă automată

Structura cu o joncțiune p-n pentru celula fotovoltaică (CFV) este obținută la instalația IEC-3/4R de epitaxie a GaAs, care în mod programat se aduce la regimul de creștere a straturilor epitaxiale conform instrucțiilor tehnologice. Mnemoschema procesului tehnologic de epitaxie a straturilor de GaAs, care reprezintă și schema funcțională a instalației, este prezentată în figura 1.

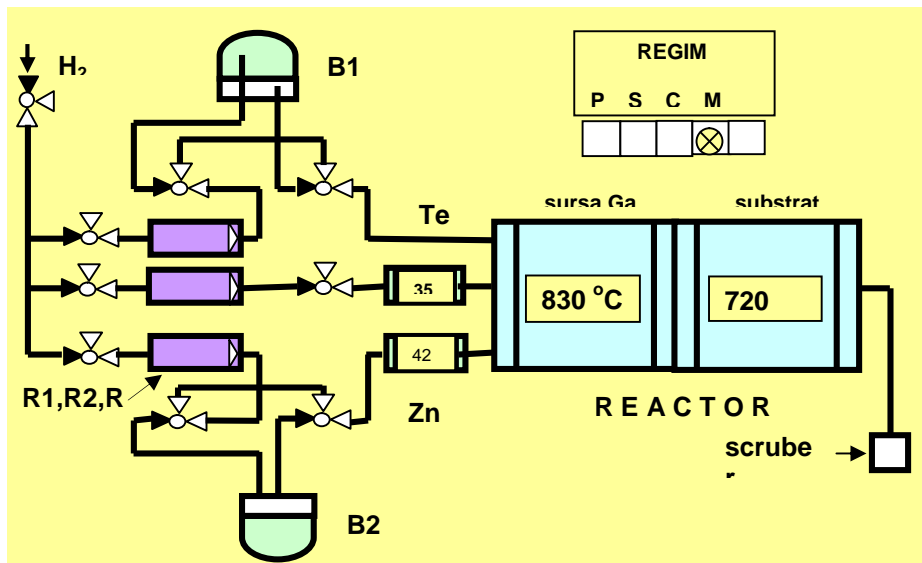


Figura 1 Mnemoschema procesului tehnologic de epitaxie a GaAs cu transport de reacții

În traseul tehnologic de fabricare este inclusă și operația tehnologică de corodare finală a suprafeței substratului prin purjarea reactorului cu un flux de vapori HCl la temperatura de creștere sau la temperatura deplasată cu 40-50 °C mai sus pentru un intervalul de 2-5 min în zona de creștere a reactorului. Spre finalul acestui impuls de HCl în reactorul instalației este programată trecerea la regimul de inițiere a procesului de creștere a primului strat epitaxial conform structurii fotovoltaice prezentate în figura 2.

$n^{++}$ GaAs+Te, $4 \cdot \exp 18 \text{ cm}^{-3}$ , 0,3-0,5 $\mu$ , epitaxy layer
$p^0$ GaAs+Zn, $2 \cdot \exp 17 \text{ cm}^{-3}$ , 3 $\mu$ , epitaxy layer
$P^{++}$ GaAs+Zn, $2 \cdot \exp 18 \text{ cm}^{-3}$ , 10 $\mu$ , epitaxy layer
$P^{++}$ GaAs+Zn, $2 \cdot \exp 18 \text{ cm}^{-3}$ , 400 $\mu$ , substrat

Figura 2 Structura CFV cu straturi epitaxiale din GaAs.

Programa tehnologului pentru această structură prevede alierea stratului amortizor cu zinc la concentrația  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  prin stabilirea temperaturii la sursa Zn de 410 °C conform presiunii

vaporilor saturați de zinc prezentate în figura 3. Timpul procesului de aliere este calculat din datele grosimii proiectate a stratului amortizor și de viteza de creștere a GaAs pentru acest regim. Viteza de creștere a stratului epitaxial este stabilită experimental în dependență de gradul de aliere, care micșorează viteza de creștere de la 15-18  $\mu$  în regim fără aliere până la 7-8  $\mu$  în regim de aliere cu zinc până la saturație  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Un moment important la creșterea stratului următor amortizorului reprezintă minimizarea duratei de trecere de la un tip de aliere la altul, precum și duratei de trecere la creșterea straturilor de diferite concentrații ale impurității.

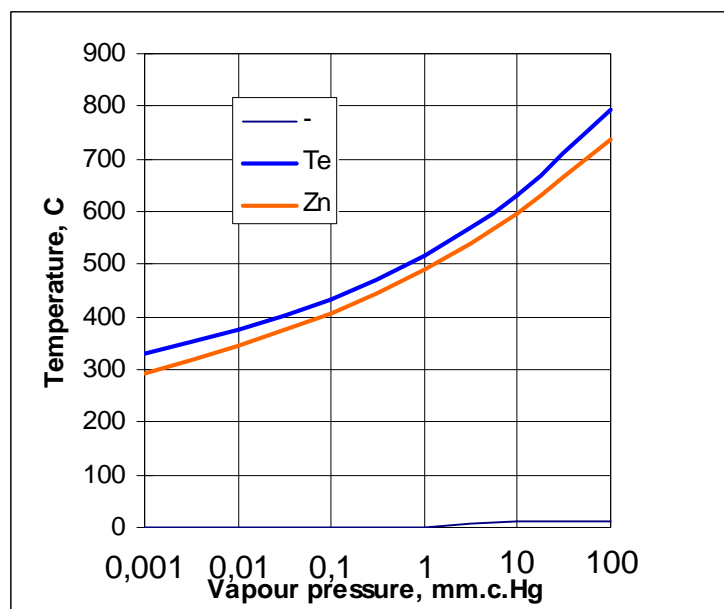


Figura 3 Presiunea vaporilor saturați de zinc și telur la diferite temperaturi.

Sincronizarea în timp a operațiilor tehnologice însoțite de efecte termice este programată și controlată de computer cu excepția zonelor termice ale reactorului (sursa de Ga și zona de creștere), care sunt controlate de sisteme autonome în baza regulatorului VTR-3 cu o eroare de 0,5 °C. Sursele de  $\text{AsCl}_3$  indicate în schemă prin barbotorul  $B_1$  și  $B_2$  de asemenea sunt termostabilizate în regim autonom și controlate de către operator cu ajutorul debitmetrelor de hidrogen  $R_1$ - $R_3$ .

Parametrii regimului de creștere a structurii  $p^+-p^0-n^+$  pe substrat din p-GaAs la instalația IEC-3/4R sunt prezentați în tabelul 1.

Tabelul 1 Regimul termic de creștere a straturilor GaAs la instalația de epitaxie IEC 3/4R

Nr. d/o	Denumirea parametrului	Unitate de măsură	Valoare	Notă
1.	Temperatura în camera de creștere, $T_s$	°C	744*	Stab.+/- 0,5°C
2.	Temperatura în camera galiului, $T_g$	°C	838	Stab.+/- 0,5°C
3.	Temperatura sursei de telur, $T_{Te}$	°C	360	
4.	Temperatura sursei de zinc, $T_{Zn}$	°C	300, 410	
5.	Temperatura sursei de $\text{AsCl}_3$ , $T_{Cl1}$	°C	21	

\* Temperatura în punctul de control al camerei de creștere.

Comandă automată se referă la temperatura sursei de telur (Te), temperatura sursei de zinc (Zn), durata acestor procese termice precum și timpul de ieșire la regim. Acești parametri sunt stabiliți în programul tehnologului prezentat în figura 4.

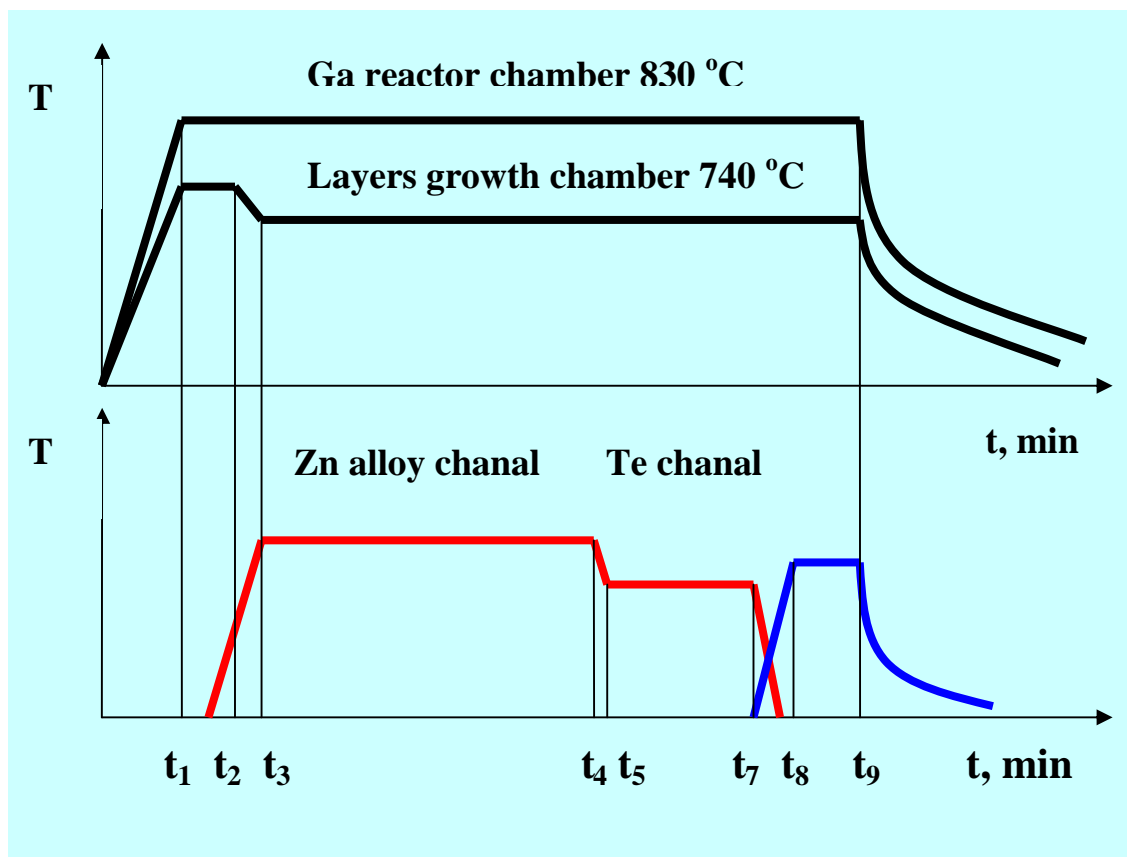


Figura 4 Programa tehnologului de control automat a procesului de aliere a GaAs

Partea de sus în figura 4 reprezintă distribuția în timp a temperaturii în două zone termice a reactorului: camera sursei Ga și a camerei de creștere, care sunt controlate autonom de reglatoare PID și programată de operator. Partea de jos a desenului reprezintă programul tehnologului de aliere a straturilor crescute în reactor, care este realizată și controlată de computer. Începutul creșterii primului strat epitaxial are loc în momentul  $t_3$  îndată după stabilizarea temperaturii în camera de creștere și întreruperea fluxului de HCl prin închiderea barbotorului B<sub>2</sub>. Cunoscând constanta de timp a încălzitorului Zn se calculează timpul  $t_2$  de introducere a curentului în circuitul astfel, ca stabilizarea reglajului de temperatură a Zn să coincidă cu momentul  $t_3$ . Astfel se obține omogenitatea perfectă a concentrației dopantului la granița substratului în direcția de creștere a stratului epitaxial. Durata de trecere la o concentrație mai mică a dopantului Zn se cere minimizată, de exemplu, prin răcirea forțată a încălzitorului de Zn pe durata de timp  $t_4$ - $t_5$ . La fel se procedează în momentul  $t_7$ , când circuitul sursei de Zn se deconectează și se introduce sursa de curent în circuitul sursei de Te (canalul de reglare nr.2). Finalizarea procesului de creștere a structurii CFV are loc în momentul  $t_9$ , când se deconectează circuitul sursei de aliere concomitent cu deconectarea circuitului termic a reactorului.

Automatizarea acestui proces a fost efectuată cu utilizarea regulatorului PID universal programabil cu două canale TRM151-0, care are posibilități extinse de configurare la computer [6]. La intrare au fost instalate două termocupluri TXA, iar la ieșire două convertoare DA (4-20mA). În dispozitivul TRM151 este realizată funcția autoreglării PID regulatorului ce scutește utilizatorul de operația reglării manuale. Dispozitivul mai conține un modul-interfață RS-485, care permite configurarea dispozitivului la computer, transmiterea în rețea a valorilor curente a mărimilor

măsurate, parametrilor programei tehnologului, altor parametri programați precum și recepția din rețea a datelor operative pentru generarea semnalelor de comandă.

Schema principială a blocului de comandă automată a regimului termic de aliere este prezentată în figura 5.

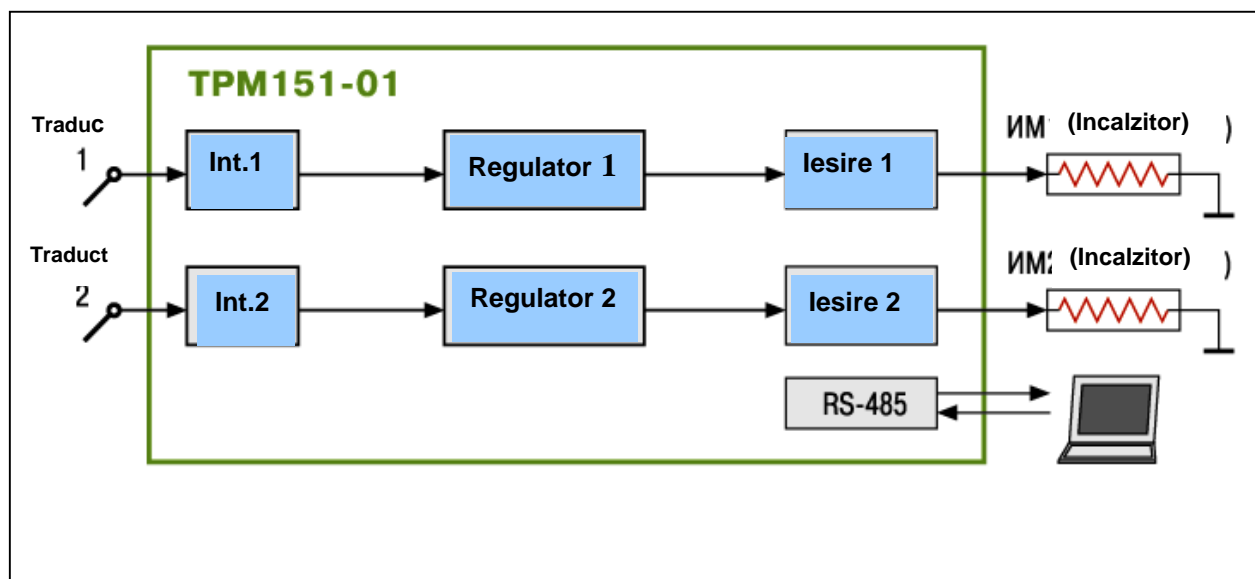


Figura 5 Schema principială a blocului de comandă automată a regimului termic de aliere a GaAs

Constructivul sistemului de comandă este realizat în formă de bloc autonom la instalația de epitaxie IEC-3/4R în perspectiva automatizării integrale a instalației tehnologice vizate și implementarea ei în industria microelectronică.

Vederea generală a blocului de comandă automată a regimului termic la sursele de aliere a GaAs în procesul de creștere epitaxială în sistemul Ga-AsAl<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> este prezentată în figura 6.



Figura 6 Vedere generală a blocului de comandă automată a surselor de aliere a straturilor epitaxiale de GaAs

### III. Concluzii

Realizarea instalației de epitaxie a GaAs prin transport de reacții cu sistem automat de comandă deschide cercetătorilor de tehnologii noi posibilități extinse de accelerare a investigațiilor și de multiplicare a probelor experimentale repetitive de calitate superioară. Actualmente fiecare cercetător științific, care activează în domeniul elaborării tehnologiilor noi, simte necesitatea de a colabora cu specialiștii calificați din alte domenii cum ar fi ingineria sistemelor și automatizarea proceselor tehnologice. Această colaborare minimalizează termenul de elaborare a tehnologiilor noi, dar și grăbește momentul implementării tehnologiei elaborate în industrie prin diminuarea costurilor de producție, creșterea calității produsului și competitivității lui pe piață.

Programul tehnologului instalat la sistemul automat cu comandă elaborat pentru alierea GaAs la instalația de epitaxie IEC-3/4R poate fi format din pași simpli și din pași cu transformare, care include funcționarea programului în ciclu. Astfel, tehnologul are posibilitatea să proiecteze și să obțină structuri din multiple straturi epitaxiale periodice cu dimensiuni și proprietăți electrofizice diferite, inclusiv și straturi nanodimensionale.

Tehnologiile informaționale industriale astăzi așteaptă solicitările savanților din Moldova pentru a pune tehnologiile noi pe scară industrială prin sisteme automate de comandă.

### IV. Referințe

1. Арсенид галлия в микроэлектронике. Под ред. Айнспрука, У.Уисмена. Перевод с английского под ред. В.Н. Мордковича-М.: Мир, 1988-555 с.
2. Baranov S., Cheibas V., Cinic B. The Ultrafast High Temperature Power Elements Output in Moldova. Proceeding of the 1<sup>st</sup> International Conference „Radio electronics, Informatics and technology” 15-16 Oct. 2008, Chisinau Moldova, TUM, pp.70-75.
3. Baranov S. Cinic B. Coloană de diode de temperatură înaltă. MD Patent Document nr. 196, MD-BOPI, 4/2010, p.p.41-42, Int.Cl.: H 01 L 25/00, 23-00, 21/70.
4. Baranov S., Cinic B., Suman V. and Dudca T.. Ultrafast Suppressor for the Protection of Electronic Telecommunication Stations from Overvoltage. Proceedings of the 2<sup>th</sup> International Conference “Telecommunications, Electronics and Informatics”, vol. II, Chisinau, may 15-18, 2008, pp. 109-112.
5. Baranov S., Cinic B., Gorceac L. Celulă solară cu joncțiune p-n reliefată. Conferința științifică națională cu participare internațională „Creșterea impactului cercetării și dezvoltarea capacității de inovare. 21-22 septembrie 2011. Rezumatele comunicărilor. Științe naturale și exacte. Vol. II, CEP USM, Chișinău-2011, pp.121-124.
6. ОВЕН, Каталог продукции 2010. Оборудования автоматизации. с. 114-121.