

CZU: 537.311.322

CERCETAREA CAPACITĂȚII ȘI CONDUCTIBILITĂȚII ELECTRICE ALE JONCTIUNILOR DIN P-INP

*Vasile BOTNARIUC, Ludmila GAGARA, Leonid GORCEAC,
Boris CINIC, Andrei COVAL, Semion RAEVSCHI, Cornel ROTARU*

Universitatea de Stat din Moldova

Au fost studiate caracteristicile capacitate-tensiune-conductabilitate-frecvență ale homojonctiunilor $n^+p^0p^+$ InP cu și fără strat frontal n^+ CdS obținute cu aplicarea tehnologiilor din faza gazoasă în sistemul In-PCl₃-H₂ și în volum cvasiînchis. S-a stabilit că distribuția impurităților în regiunea sarcinii de baraj în astfel de jonctiuni este cu gradient liniar, iar la frecvențele de 7...10 MHz impedanța structurii este determinată de rezistența inductivă. Concentrația stărilor superficiale pentru structurile $n^+p^0p^+$ InP cu strat frontal de n^+ CdS este cu un ordin mai mică decât fără acest strat, ceea ce va spori eficiența CF obținute în baza lor.

Cuvinte-cheie: jonctiune, capacitate, tensiune, frecvență, conductibilitate, fosfură de indiu (InP).

CAPACITANCE AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY STUDIES OF P-INP JUNCTIONS

The capacitance –voltage-conductivity-frequency dependencies of $n^+p^0p^+$ InP with and without n^+ CdS frontal layer, obtained by using of gaseous phase epitaxial technology in a In-PCl₃-H₂ system and deposition in a quasi-closed volume, were studied. It was established that the impurity distribution in the space charge region of such junctions is of a linear gradient, and at the frequencies of 7...10 MHz the structure impedance is determined by the inductance resistance. The surface state concentration in $n^+p^0p^+$ InP structures with the n^+ CdS frontal layer is by an order of magnitude lower than in the same structures without it, which can enhance the efficiency of solar cells based on them.

Keywords: Junction, capacitance, voltage, frequency, conductivity, indium phosphide (InP).

Introducere

Studiul caracteristicilor capacitate-tensiune-conductabilitate-frecvență ale structurilor cu homo- și hetero-jonctiuni permite determinarea parametrilor structurilor, cum ar fi tipul și localizarea p-n-jonctiunii, potențialul de difuzie, concentrația purtătorilor de sarcină în stratul activ etc. [1]. Acest studiu dă posibilitate de a optimiza parametrii energetici ai celulelor fotovoltaice (CF) obținute în baza lor.

În lucrare au fost studiate caracteristicile capacitate-tensiune, capacitate-frecvență, conductibilitate-frecvență ale homojonctiunilor $n^+p^0n^+$ -InP cu și fără strat frontal de n^+ CdS.

Metode de obținere și cercetare

Procedeu tehnologic de obținere a homojonctiunilor n-pInP cu strat epitaxial intermediar p^0 InP include:

- Pregătirea substratelor de pInP:Zn cu grosimea de 400 μm, densitatea dislocațiilor $(3...5) \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, concentrația golurilor de $(1...3) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, dezorientarea de 3...4° de la direcția cristalografică (100) spre direcția (110);
- Depunerea pe substratul pInP a stratului epitaxial p^0 cu componența stoichiometrică prin metoda epitaxiei din faza gazoasă în sistemul In-PCl₃-H₂;
- Decaparea gazoasă a acestui strat epitaxial p^0 InP și depunerea lui ulterioară cu parametri mai avansați: grosimea 3...5 μm, concentrația golurilor $(1...5) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, mobilitatea lor 90...100 $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Astfel, au fost obținute izostructurile de tipul p^+p^0 InP;
- Depunerea pe stratul epitaxial p^0 InP în același ciclu tehnologic, prin aceeași metodă, a stratului epitaxial n^+ InP dopat cu Te cu concentrația de $(2...3) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

Drept urmare, au fost obținute structurile de tipul 1 pentru cercetare – $n^+p^0p^+$ InP.

Concomitent, pe o parte din structurile de tipul 1 pe stratul n^+ InP, prin metoda volumului cvasiînchis, la temperatura de 710°C, în atmosferă de H₂ a fost depus stratul epitaxial frontal n^+ CdS. Astfel, au fost obținute structurile de tipul 2: n^+ CdS- n^+ InP- p^0 InP- p^+ InP, care permit extinderea gradului de utilizare a spectrului luminii incidente pe suprafața CF formate pe baza acestor structuri și optimizarea rezistenței în serie.

Contactul ohmic pentru straturile epitaxiale frontale n^+InP sau n^+CdS ale structurii în formă de grilă sau punctiform a fost depus prin evaporarea termică în vid a In, iar în calitate de contact ohmic verso – pentru substratul p^+InP a fost depus prin aceeași metodă aliajul Ag+5%Zn. Depunerea contactelor a fost urmată de tratarea termică a lor în H_2 la 200 și, respectiv, 400°C.

Caracteristicile capacitate-tensiune și capacitate-frecvență au fost cercetate utilizând complexul computerizat KEITHLEY 4200-SCS.

Măsurarea capacității electrice a structurilor s-a efectuat la 300 K în diapazonul de tensiuni electrice de la -1,5 până la 1,5 V, intervalul de frecvențe $1...10^4$ kHz. Amplitudinea semnalului alternativ constituie 30 mV cu durata impulsului de 10 ns.

Rezultate și interpretări

În Figura 1 sunt prezentate caracteristicile C^{-3} funcție de tensiune ale structurii $n^+-p^0-p^+InP$ fără (1) și cu strat frontal de n^+CdS (2).

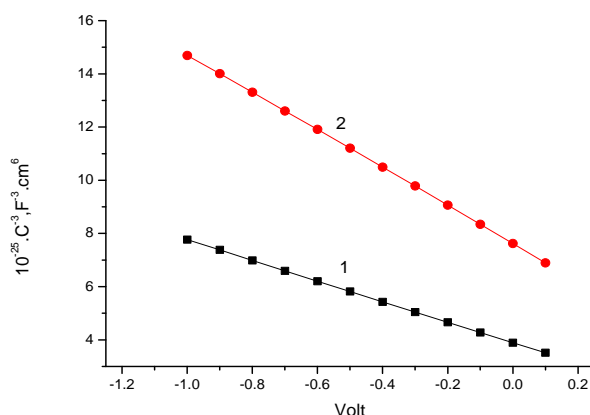


Fig.1. Caracteristicile capacitate-tensiune ale:
1 – joncțiunii $n^+-p^0-p^+InP$; 2 – aceeași joncțiune cu strat frontal de n^+CdS .

Aceste caracteristici prezintă dependențe liniare în toată regiunea tensiunilor aplicate. Extrapolarea $C^{-3} \rightarrow 0$ a arătat că potențialul de difuziune (U_d) determinat din dependențele $C^{-3}=f(U)$ constituie $U_d = 0,870$ V pentru joncțiunea $n^+-p^0-p^+InP$ și $U_d=0,920$ V pentru aceeași structură cu strat frontal de n^+CdS . Valorile analogice obținute din dependențele $I=f(U)$ sunt $U_d=0,835$ V pentru $p-n$ joncțiune și $U_d=0,875$ V pentru cele cu strat frontal de n^+CdS , ceea ce este o corelație satisfăcătoare între rezultatele obținute.

În Figura 2 sunt prezentate caracteristicile $C = f(U)$ ale structurii $n^+-p^0-p^+InP$ în dependență de frecvența semnalului testat din intervalul $0,1...10$ MHz. Tensiunile aplicate la cercetarea structurilor variază de la -1V (regim golire) până la +1V (regim acumulare).

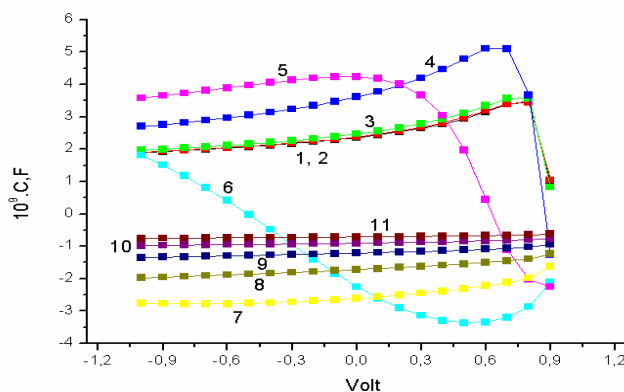


Fig.2. Caracteristica voltfaradă pentru structurile $n^+-p^0-p^+InP$ la diferite frecvențe, kHz:
1 – 100, 2 – 500, 3 – 1000, 4 – 3000, 5 – 4000, 6 – 5000, 7 – 6000, 8 – 7000, 9 – 8000, 10 – 9000, 11 – 10000.

Observăm că pentru intervalul frecvențelor 100...1000 kHz, cu majorarea tensiunii aplicate crește și capacitatea electrică, iar curbele aproape coincid (1-3). Creșterea frecvenței semnalului până la 3 MHz (4) conduce la majorarea bruscă a capacității electrice a joncțiunii, iar caracterul dependenței nu se schimbă semnificativ. La frecvența de 4 MHz forma curbei voltfaradă (5) se schimbă, trece în regiunea polarizării indirecte, se observă punctul de inflexiune, iar la valorile de $\sim 0,65$ V ajunge în regiunea valorilor negative. Cu mărirea frecvenței semnalului caracteristica voltfaradică se deplasează în întregime în regiunea valorilor negative (în regiunea rezistenței de inductanță, $L\omega$). La frecvențele 7...10 MHz impedanța structurii este determinată de rezistența inductivă.

Concomitent cu măsurătorile capacității electrice au fost efectuate măsurătorile conductibilității electrice a structurii cu barieră $n^+ - p^0 - p^+$ InP la aceleași frecvențe.

După cum se observă din Figura 3 a), variația capacității electrice la rezonanță are loc la frecvențe mai mari de 1 MHz. Pentru porțiunea de golire (-1 – 0) V curbele coincid.

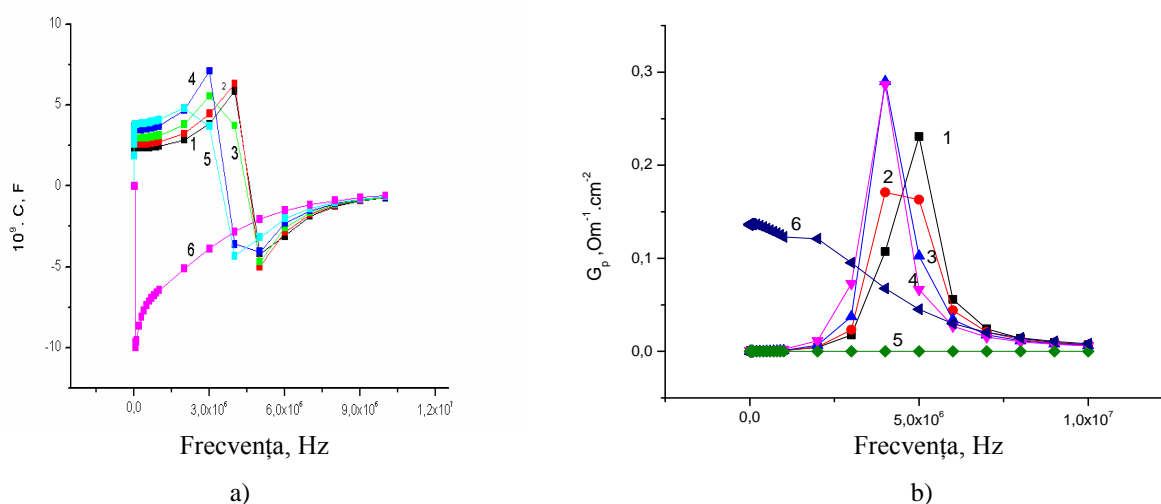


Fig.3. Capacitatea (a) și conductibilitatea electrică (b) a structurii $n^+ - p^0 - p^+$ InP funcție de frecvență la tensiunile (V): -1(1); -0,5(2); -0,4(3); 0,4(4); 0,7(5); 1(6).

Cu creșterea tensiunii bariera de potențial se micșorează, frecvența de rezonanță se diminuează până la 3,6 MHz și pentru valorile capacității electrice în regim de îmbogățire (+1 V), când bariera de potențial în întregime lipsește, dependența $C=f(F)$ trece în regiunea valorilor negative. Aceasta nu înseamnă că capacitatea electrică a joncțiunii este negativă, dar numai confirmă faptul că pentru intervalul dat de frecvențe are loc redistribuirea componentelor rezistenței totale a joncțiunii, a părții active și reactive, de care dispune structura dată.

În figura 3 b) este prezentată dependența conductibilității (G_p) funcție de frecvențe pentru diferite tensiuni de polarizare în intervalul (-1...+1) V. Caracteristică este evidențierea maximurilor la câteva frecvențe ale semnalului. Maximumul conductibilității totale corespunde rezonanței în circuit, atunci când rezistivitatea de capacitate ($1/C\omega$) este compensată de cea de inductivitate ($L\omega$). Astfel de dependențe, $G_p=f(\omega)$, permit obținerea informației privitor la localizarea stărilor superficiale în regiunea sarcinii de baraj a joncțiunii.

Conform [3], în expresia pentru conductibilitatea echivalentă a circuitului se conține frecvența semnalului și timpul de reîncărcare a golurilor stărilor superficiale:

$$G_p/\omega = C_s \omega \tau / (1 + \omega^2 \tau^2)$$

Mărimea $G_p/\omega=f(F)$ atinge valoarea maximală la $\omega\tau=1$, fiind egală cu $C_s/2$.

După datele dependențelor $G_p=f(\omega)$ poate fi determinat timpul de reîncărcare a golurilor τ ale stărilor la hotarul de separare. Deoarece capacitatea electrică este cunoscută, poate fi determinată densitatea de suprafață a acestor stări, $N_s=C_s/qA$, unde A – aria electrodului metalic. Au fost determinați parametrii p-n joncțiunii în baza InP și, de asemenea, ai p-n joncțiunii cu strat de CdS deus pe suprafața frontală (*a se vedea Tabelul*).

Tabel

Parametrii	Joncțiunea	
	$n^+ - p^0 - p^+ \text{InP}$	$n^+ \text{CdS} - n^+ - p^0 - p^+ \text{InP}$
Timpu de reîncărcare, $\tau, 10^{-8}$, s	3,18	4,2
Concentrația N_s, cm^{-2}	$2,03 \cdot 10^{11}$	$2,55 \cdot 10^{10}$

Din datele prezentate în Tabel rezultă că concentrația stărilor superficiale pentru joncțiunile $n^+ - p^0 - p^+ \text{InP}$ în baza InP este mai mare cu un ordin decât pentru structurile cu strat de CdS pe suprafața joncțiunii. După toată probabilitatea, acesta este factorul obiectiv că la depunerea stratului CdS pe suprafața frontală a p-n joncțiunii caracteristicile energetice cresc considerabil.

Concluzii

Studiul dependențelor capacitate-tensiune-frecvență-conductibilitate ale structurilor $n^+ - p^0 - p^+ \text{InP}$ fără și cu strat frontal de $n^+ \text{CdS}$ demonstrează următoarele:

- Distribuția impurității în regiunea sarcinii de baraj în joncțiuni este cu gradient liniar.
- Intervalul frecvențelor de lucru ale structurilor nominalizate cuprinde valorile 4...5 MHz, iar creșterea frecvenței în continuare a arătat că rezistența structurii are caracter inductiv.
- Pentru structurile $n^+ - p^0 - p^+ \text{InP}$ cu strat frontal de $n^+ \text{CdS}$ timpul de reîncărcare a stărilor de la interfață constituie $(3...5) \cdot 10^{-8}$ s, iar concentrația acestora se micșorează până la valoarea de $2 \cdot 10^{-10} \text{cm}^{-2}$, ceea ce sporește eficacitatea celulelor fotovoltaice în baza lor.

Referințe:

1. SCOFIELD, J. H. Effect of series resistance and inductance on solar cell admittance measurements. In: *Sol. Energy Mat. And Solar Cells*, vol.37(2), 1995, p.217-233.
2. ФАРЕНБРУХ, А., БЫЮБ, Р. *Солнечные элементы*. Москва: Энергоатомиздат, 1967. 278 с.
3. ЗИ, С.М. *Физика полупроводниковых приборов*. Москва: Энергия, 1973. 655 с.

Prezentat la 21.06.2017