

Mecanismul și rolul factorului cuantic în procesul de difuzie stimulată de fotoni a Zn în GaAs și InP

Sergiu Şişianu

Universitatea Tehnică a Moldovei

Catedra Microelectronica și Dispozitive cu Semiconductori,

Abstract

În lucrare se propune modelul fizico-matematic în baza căruia sunt analizate și calculate dependența coeficientului de difuziune stimulată de fotoni $D(\lambda)$ a Zn în GaAs.

Datele calculate corespund celor experimentale și arată că coeficientul de difuziune stimulată de fotoni crește odată cu creșterea energiei cuantice ori cu micșorarea lungimii de undă a luminii.

Rezultatele obținute pot fi utilizate pentru optimizarea proceselor tehnologice cu tratamentul fototermic rapid de obținere a joncțiunilor p-n, inclusiv a celulelor fotovoltaice în baza semiconductorilor.

1. Introducere.

Conform datelor experimentale, prezentate în [1], coeficientul de difuzie stimulată de fotoni RPD a Zn în GaAs și InP este de 10-100 de ori mai mare comparativ cu difuzia convențională în sobele termice. Iar mecanismul difuziei și profilurile de concentrație $N(x,t)$ sunt complicate și nu corespund funcțiilor erfZ ori erfcZ.[2-4]. Aceste rezultate sunt explicate în baza mecanismului disociativ cu coeficientul de difuziune dependent de concentrație $D(N)$, pe de o parte, și de concentrație $D(\lambda)$, pe de altă parte, de lungimea de undă a luminii $D(\lambda)$, pe de altă parte [5,6]. În literatură sunt discutate unele modele și interpretări ale rolului factorului cuantic al luminii în procesul de difuziune a impurităților în semiconductori [1,4, 7-9]. Însă nu sunt modele în baza cărora pot fi analizate efectele spectrale și dependența coeficientului de difuziune de energia cuantică și de lungimea de undă a luminii.

Scopul acestei lucrări constă în elaborarea modelului pentru calculul dependenței coeficientului de difuzie a impurităților în semiconductori în procesul tratamentului fototermic.

2. Modelul și calculul dependenței coeficientului de difuziune de lungimea de undă a luminii, $D(\lambda)$

Pentru calculul dependenței coeficientului de difuziune de lungimea de undă a luminii, $D(\lambda)$, se propune modelul cu următoarea ecuație:

$$D(T, hv) = D_0 \exp[-(E_D - \eta (E_{hv} - E_g))/kT] = \\ = D_0 \exp[-(E_D - \eta E_{hv} (1 - E_g/E_{hv}))/kT] = D_0 \exp[-(E_D - E^*)/kT], \quad (1)$$

$$E^* = \eta E_{hv} (1 - E_g/E_{hv}), \quad (2)$$

unde D_0 and E_D sunt parametrii difuziei convenționale în soba termică, E_g este energia benzii interzise a semiconductorului; k – constanta Boltzmann, T - temperatura în °K, $E_{hv} = hv = 1,24/\lambda$ – energia cuantului, λ – lungimea unde de lumină.

În ecuația (2) componenta E^* este energia cuantică activă a spectrului de lumină cu valoarea cuantului mai mare de cât energia benzii interzise a semiconductorului, în cazul nostru GaAs ($E_{hv} > E_g = 1,42\text{eV}$, $\eta\%$ - eficiența fluxului de lumină).

Calculul au fost efectuate pentru Zn în GaAs cu următorii parametri: $D_0 = 23$ cm/sec, $E_D = 2,5$ eV, $E_g = 1,42\text{eV}$, $\eta\% = 10\%$, 20% , 30% , 40% și 50% . Rezultatele calculului în baza ecuației (4) sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Valorile coeficientului de difuzie RPD a Zn în GaAs, calculate în baza ecuației (.4).

| λ , μm | | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
|------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\eta\% = 10\%$ | $E^*, \text{eV}, \times 10$ | 0,13 | 0,35 | 0,55 | 1,06 | 1,86 | 2,71 | 4,68 |
| | $D(\lambda), \text{cm}^2 / \text{sec}$ | $4,7 \times 10^{-10}$ | $5,8 \times 10^{-10}$ | $7,1 \times 10^{-10}$ | $1,0 \times 10^{-9}$ | $2,2 \times 10^{-9}$ | $5,9 \times 10^{-9}$ | $4,7 \times 10^{-8}$ |
| $\eta\% = 20\%$ | E^*, eV | 0,26 | 0,70 | 1,10 | 2,12 | 3,72 | 5,42 | 9,36 |
| | $D(\lambda), \text{cm}^2 / \text{sec}$ | $5,3 \times 10^{-10}$ | $9,8 \times 10^{-10}$ | $1,2 \times 10^{-9}$ | $3,3 \times 10^{-9}$ | $1,1 \times 10^{-8}$ | $8,8 \times 10^{-8}$ | $5,5 \times 10^{-6}$ |
| $\eta\% = 30\%$ | E^*, eV | 0,39 | 1,05 | 1,65 | 3,18 | 5,58 | 7,13 | 12,2 |
| | $D(\lambda), \text{cm}^2 / \text{sec}$ | $6,1 \times 10^{-10}$ | $1,2 \times 10^{-9}$ | $2,1 \times 10^{-9}$ | $9,9 \times 10^{-9}$ | $6,1 \times 10^{-8}$ | $1,3 \times 10^{-6}$ | - |
| $\eta\% = 40\%$ | E^*, eV | 0,52 | 1,40 | 2,20 | 4,24 | 7,44 | 10,8 | - |
| | $D(\lambda), \text{cm}^2 / \text{sec}$ | $6,9 \times 10^{-10}$ | $1,7 \times 10^{-9}$ | $3,7 \times 10^{-9}$ | $2,7 \times 10^{-8}$ | $3,3 \times 10^{-7}$ | $1,8 \times 10^{-5}$ | - |
| $\eta\% = 50\%$ | E^*, eV | 0,65 | 1,75 | 2,75 | 5,30 | 9,3 | 13,5 | - |
| | $D(\lambda), \text{cm}^2 / \text{sec}$ | $9,9 \times 10^{-10}$ | $2,3 \times 10^{-9}$ | $6,2 \times 10^{-9}$ | $9,9 \times 10^{-8}$ | $1,6 \times 10^{-6}$ | - | - |

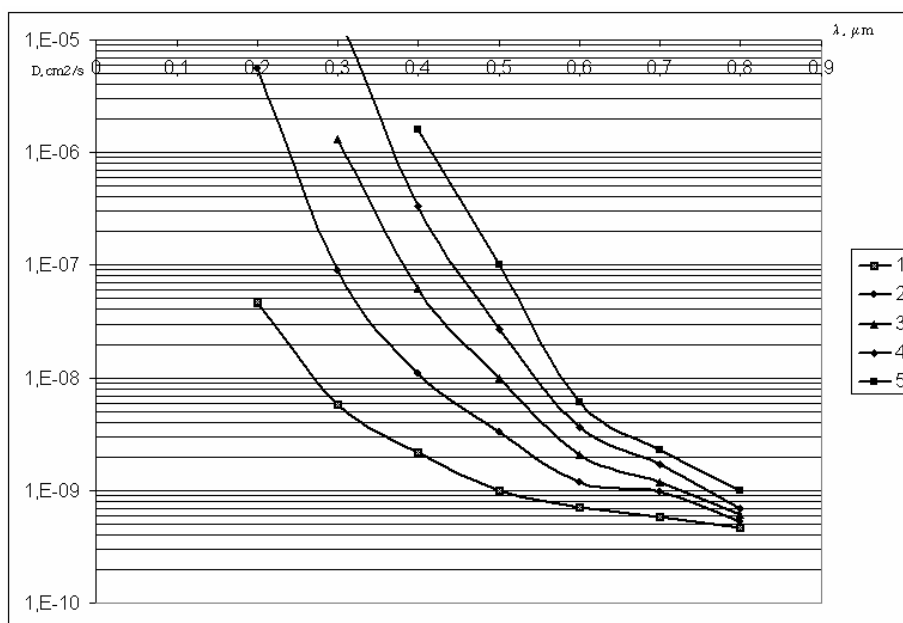


Fig.1. Dependența coeficientului de difuzie RPD a Zn în GaAs de lungimea de undă a luminii, $D=f(\lambda)$. În baza datelor din Tabelul 1 au fost construite graficele dependenței coeficientului de difuzie RPD a Zn în GaAs ca funcție de lungimea de undă, $D=f(\lambda)$, prezentate în fig. 1.

După cum se vede din aceste grafice, valorile coeficientului de difuziune, calculate în baza modelului propus, cresc odată cu descreșterea lungimii de undă de la $\lambda=0,8\mu\text{m}$ până la $\lambda=0,3\mu\text{m}$ după cum urmează: pentru $\eta\% = 10\%$ coeficientul D crește de la $4,7 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ până la $5,9 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ (curba 1); pentru $\eta\% = 20\%$ coeficientul D crește de la $5,3 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ până la $8,8 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ (curba 2); pentru $\eta\% = 30\%$ coeficientul D crește de la $6,1 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ până la $1,3 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ (curba 3); pentru $\eta\% = 40\%$ coeficientul D crește de la $6,9 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ până la $1,8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ (curba 4); pentru $\eta\% = 50\%$ coeficientul D crește de la $9,9 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ până la $1,6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ (curba 5).

/sec (curba 3); pentru $\eta\%= 40\%$ coeficientul D creşte de la $6,8 \times 10^{-10}$ cm² /sec până la $1,8 \times 10^{-5}$ cm² /sec (curba 4); pentru $\eta\%= 50\%$ această creştere este şi mai pronunţată (curba 5).

3. Dependenţa coeficientului de difuziune RPD a Zn în GaAs de valoarea componentei energiei cuantice a luminii, $D=f(E^* / E_D)$,

În fig.2 sunt prezentate graficele dependenţii coeficientului de difuziune RPD a Zn în GaAs de valoarea componentei energiei cuantice, $D=f(E^* / E_D)$, folosind datelor din Tabelul 1..

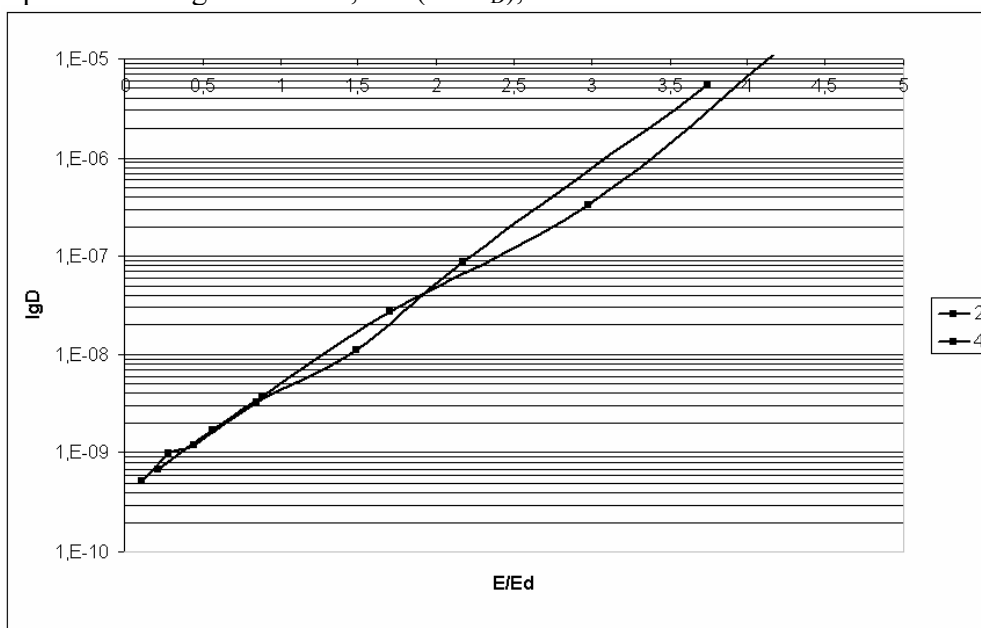


Fig.2. Dependenţa coeficientului de difuziune RPD a Zn în GaAs de valoarea componentei energiei cuantice a luminii.

Din aceste date se vede că cu creşterea componentei energiei cuantice de la 10% până la 40% valoarea coeficientului de difuziune RPD creşte cu câteva ordine în dependenţă de valorile eficienţei ($\eta\%$).

În experienţele noastre au fost utilizate lămpile halogene cu maximumul energiei spectrale situat în intervalul lungimii de undă de la aproximativ $\lambda=1,0\mu\text{m}$ până la $\lambda=0,5 \mu\text{m}$, iar eficienţa sursei de lumină a fost aproximativ de 20-35%. Pentru aceste condiţii, conform datelor din fig. 17 şi fig.18, putem obţine mărirea coeficientului de difuziune RPD a Zn în GaAs aproximativ de 10-100 de ori, ceea ce corespunde datelor experimentale.

Concluzii

A fost elaborat modelul fizico-matematic în baza căruia sunt analizate şi calculate dependenţele coeficientului de difuziune cu procesarea fototermică rapidă a Zn în GaAs.

Datele calculate corespund celor experimentale şi arată că coeficientul de difuziune stimulat de fotoni creşte odată cu creşterea energiei cuantice ori cu micşorarea lungimii de undă a luminii.

Rezultatele obţinute pot fi utilizate pentru optimizarea proceselor tehnologice cu tratamentul fototermic rapid de obţinere a joncţiunilor p-n, inclusiv a celulelor fotovoltaice în baza semiconductorilor.

Bibliografia

1 .Sergiu Şişianu. Tehnologii neconvenţionale în microelectronică cu tratament fonic şi difuzie stimulată. Ed. Tehnica, Chişinău – 1998

2. Sergiu Shishiyanu, Rajendra Singh, Teodor Shishiyanu and Kelvin Poole. Modern and low-cost Technology with Rapid Photothermal Processing for silicon solar cells fabrication. Proc. of 4th International conference Microelectronics and Computer Science, IC MECS-2005, Vol.1, 2005, Chisinau, R. Moldova
3. S. Noel, L. Ventura, A. Slaouni, J.C. Muller, B. Groh, R. Schindler, B. Froeschle and T. Theiler. Optical Effects during Rapid Thermal Diffusion. Journal of Electronic Materials, Vol.27, N₀12, 1998, 1315.
4. R. Singh, M. Fakhruddin, K.F.Poole. Rapid photothermal processing as a semiconductor manufacturing technology for the 21st century. Applied Surface 168, 2000, 198-203.
5. S. Shishiyanu. RTP diffusion and junction formation in Si and GaAs. 14st International Conference on Advanced Thermal Proceeding of Semiconductors – RTP-2006, Japan, 2006, pp.199 -204.
6. S. Shishiyanu, T. Shishiyanu, S. Railean. Shallow p-n junctions formed in silicon used pulsed photon annealing, J. Semiconductors, Vol.36, N5, 2002, pp.581-586. Physics and Tehnic of semiconductors (rus.),
7. D. Lang, L.C. Kimmerling, “Observation of the athermal defect annealing in GaP”, Appl. Phys. Lett.. v.29, N5, pp. 248-250, 1976.
8. B.K. Ridley, “Quantum processing of Materials”, Edit. by C.W.White, P.S.Peercey, AcademicPress-New York, pp.6-19, 1980.
9. Lencenko V.M. Ob aktivatii smescionnoi pri relacsatii electronih vzbujdenii v tverdih telah. FTP, 1969, T.3, No11, s. 799-801 (în rusa).
10. Strekalov V.N. Diffuzia v usloviah lazernogo otjiga poluprovodnicov. FTP, 1986, T.20, v.2, (în rusa).