

INVESTIGATION OF MECHANISM OF RADIATION
DEFECTS GENERATION AND REDISTRIBUTION IN
SEMICONDUCTORSRADIĀCIJAS DEFEKTU ĢENERĀCIJAS UN TELPISKĀ
SADALĪJUMA MEHĀNISMA PĒTĪŠANA PUSVADĪTĀJOS

Artur Medvid', *Professor, Dr.habil.phys.*

*Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry,
Division of Engineering Physics of Condensed Materials,
Address: Azenes 14/24, LV-1048, Riga, Latvia
Phone: +371 7089445, Fax: +371 7089074
E-mail: medvids@latnet.lv*

Dainis Grabovskis, *PhD. student, M.Sc.Ing.*

*Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry,
Division of Engineering Physics of Condensed Materials,
Address: Azenes 14/24, LV-1048, Riga, Latvia
Phone: +371 7089376, Fax: +371 7089074
E-mail: dainis-grabovskis@inbox.lv*

P. Gavars, *Assistant Professor, Dr..Phys.*

*Riga Technical University,
Address: Azenes 12, LV-1048, Riga, Latvia
Phone +3717089122, Fax +3717089292.
E-mail: peter@fis-com.lv*

Pavels Onufrijevs, *PhD. student, M.Sc.Ing.*

*Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry,
Division of Engineering Physics of Condensed Materials,
Address: Azenes 14/24, LV-1048, Riga, Latvia
Phone: +371 7089376, Fax: +371 7089074
E-mail: onufrijevs@latnet.lv*

Edvins Daukshta, *student*

*Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry,
Division of Engineering Physics of Condensed Materials,
Address: Azenes 14/24, LV-1048, Riga, Latvia
Phone: +371 7089376, Fax: +371 7089074
E-mail: nitrobenzols@inbox.lv*

Atslēgas vārdi: radiācijas defekti, lāzers, pusvadītāji

Ievads

Defektu inženierijā tika pierādīts, ka defektiem pusvadītāju ierīcēs ir ne tikai negatīva loma, bet defektus var arī izmantot lietderīgi: veidot dislokāciju tīklu silīcijā, kas rada starojumu infrasarkanā spektra apgabalā, veidot mehāniskus skrāpējumus vai nanodobumus, kurus izmanto kā metālu atomu ķērājus. Pašlaik defektu ģenerācijai mikroelektronikā plaši izmanto sekojošas metodes: atomu termodifūziju, jonu implantāciju un radiācijas metodi. Minētajās metodēs pie zemas staru enerģijas nav pietiekoši saprotams defektu ģenerācijas mehānisms, tā saucamais zem sliekšņa efekts, kaut gan tika piedāvāti vairāki modeļi: Varleja jonizācijas modelis [1], Klintera elektrostatisks modelis [2] un Klimerlinga rekombinācijas modelis [3] ar fononu līdzdarbību. Mūsu pētījumi [4-6] pierādīja, ka apstarojot Si, InSb, CdTe un Ge monokristālus ar YAG:Nd lāzeru pašdefektu ģenerācijas procesā svarīga loma ir temperatūras gradientam [4].

Tika parādīta iespēja, izveidot pusvadītājā pie virsmas p-n pāreju, apstarojot p-tipa pusvadītāju Si [5], InSb [4], CdTe [6] ar stipri absorbējošu gaismu.

Darba mērķis ir izstrādāt radiācijas pašdefektu veidošanās modeli pusvadītājos. Lai šo mērķi sasniegtu nepieciešams izpētīt iespēju p-n pārejas veidošanos uz virsmas monokristāliskā i-tipa Ge ar YAG:Nd lāzera starojumu. i-tipa Ge ir izvēlēts tāpēc, ka tas ir sevišķi tīrs - nekontrolēto donoru un akceptoru koncentrācija mazāka nekā elektronu un caurumu īpaškoncentrācija pie istabas temperatūras $n_i = 2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$.

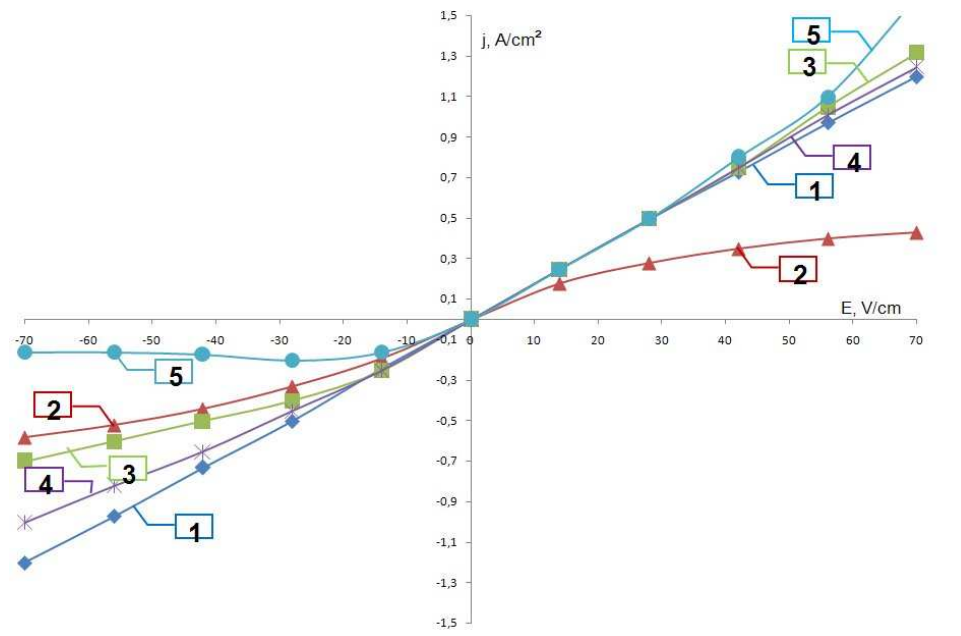
Eksperimentālā daļa

Eksperimentos tiek izmantoti monokristāliski i-tipa Ge paraugi ar īpašvadāmību $\rho = 45 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ pie istabas temperatūras. Tipiska parauga izmēri bija $10,0 \times 5,0 \times 1,5 \text{ mm}^3$. Lai sasniegtu minimālu virsmas rekombinācijas ātrumu (S_{\min}) visas parauga virsmas tika ķīmiski kodinātas CP-4 un pēc tam vārošā H_2O_2 rezultātā $S_{\min} = 100 \text{ cm/s}$, bet lai sasniegtu maksimālo virsmas rekombinācijas ātrumu parauga 2.virsmā (Parauga virsmas indeksi 1 un 2 atbilst pretējām virsmām, uz kurām virzīts Lorenca spēks) tika mehāniski pulēta, $S_{\max} = 10^4 \text{ cm/s}$. Paraugu 2. virsma tika apstarota ar YAG:Nd lāzera starojums (viļņa garums $\lambda = 1064 \text{ nm}$; jauda $P = 1 \text{ MW}$; impulsa garums $\tau = 15 \text{ ns}$; stara diametrs $d = 3 \text{ mm}$). Apstarošana notika skanēšanas režīmā. Virsmas stāvokļu un tās morfoloģijas pētīšana tika veikta ar: Volt-Ampēra raksturliķnes (VAR) mērīšanu krustotos elektriskā (E_x) un magnētiskā (B_z) laukā (magnetokoncentrācijas efekts [6]) un virsmas pētīšanu ar optisko mikroskopu Nikon Eclipse LV150, pirms un pēc apstarošanas ar lāzeru.

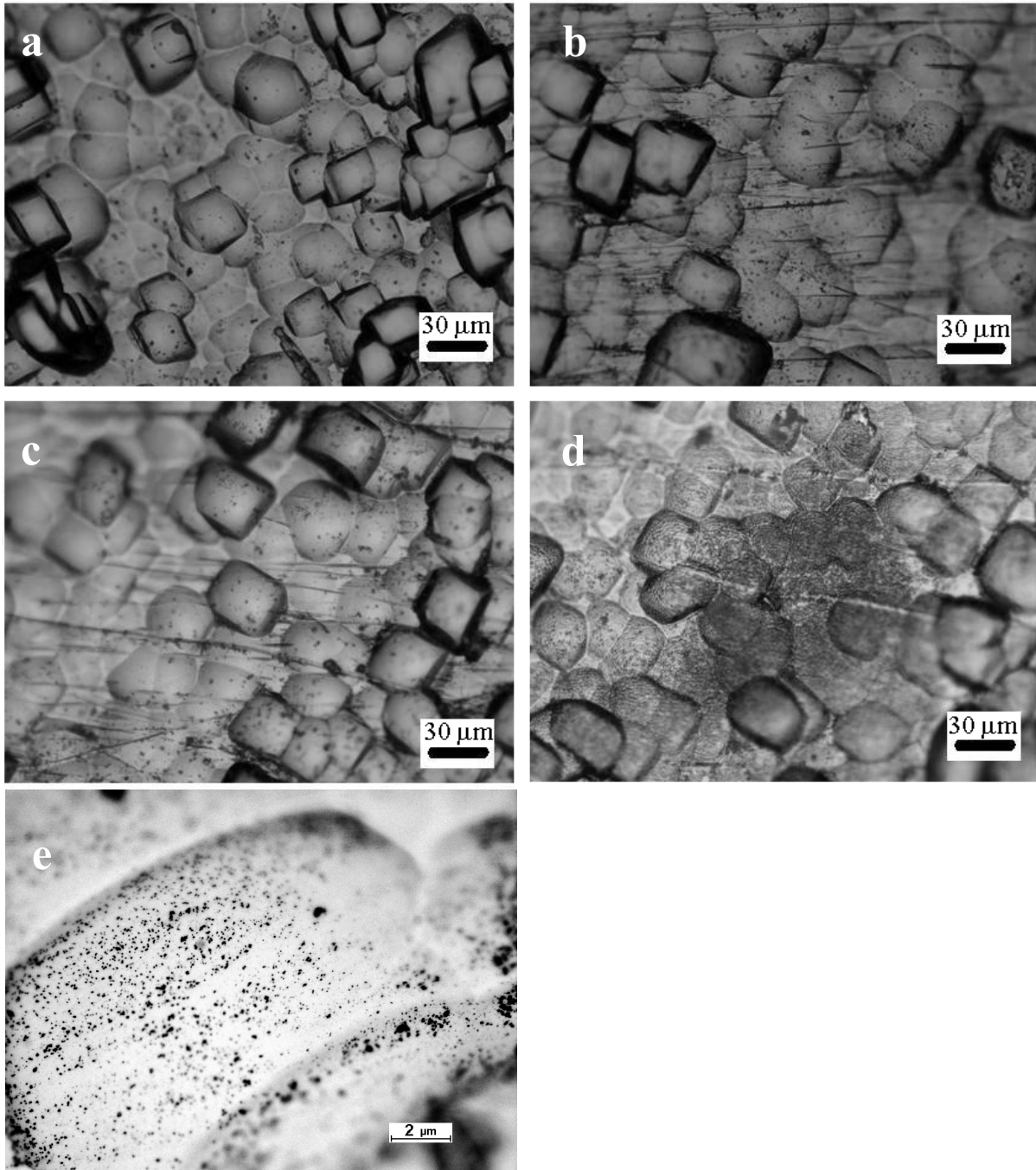
Rezultāti un to apspriešana

1.attēlā ir parādītas i-Ge parauga VAR. Kā redzam pie $B_z = 0$, līkne 1., VAR ir simetriskas un gandrīz lineāras, kas ir tipiski paraugiem ar omiskiem kontaktiem. Magnētiskajā laukā $B_z = 0.2 \text{ T}$, līkne 2., VAR ir sublineāras un simetriskas, tāpēc, ka virsmas vienādi apstrādātas ($S_{1 \min} = S_{2 \min}$). Indeksi 1 un 2 atbilst pretējām virsmām, uz kurām virzīts Lorenca spēks [7]. Pēc mehāniskas apstrādes, magnētiskajā laukā $B_z = 0.2 \text{ T}$, 3.līkne, VAR paliek diodes tipa ar

iztaisnošanas koeficientu $K=1.8$ pie 40V/cm ($K= J_+/J_-$, kur J_+ un J_- ir VAR strāvas blīvums caurlaides un sprostā virzienā, attiecīgi). Apstarojot virsmu ar lāzeru pie intensitāti $I_1=2.5\text{MW/cm}^2$ (4.līkne), iztaisnošanas koeficients samazinājās - $K=0.9$, kas liecina par VAR inversiju un S_2 samazināšanos līdz vērtībai, kas ir mazāka par S_{\min} . Tas parasti notiek ar pusvadītāja virsmām apstarojot ar lāzeru pie starojuma intensitātes, kura izraisa pusvadītāja kušanu - tā ir tā saucamā rekristalizācija [6, 9]. Bet visinteresantāk notika ar parauga VAR magnētiskā laukā pie $B_z=0.2\text{T}$ (līkne 5.) apstarojot to pašu virsmu ar lielāku intensitāti - $I=18\text{MW/cm}^2$, iztaisnošanas koeficients palielinās līdz $K=2.7$. Zināms, ka īsa impulsa laikā lāzera starojums neievada pusvadītāja virsmā papildus piemaisījumus vai punkta defektus. Kā tika parādīts agrāk [10], virsmas rekombinācijas ātrums var palielināties virsmas ģeometriskā laukuma palielināšanās rezultātā, piemēram, poru veidošanās dēļ. Pētot virsmas morfoloģiju ar optisko mikroskopu, 2.att., acīmredzams, ka virsmas kušana pēc apstarošanas ar lāzeru pie intensitātes $I_1=2.5\text{MW/cm}^2$ nenotika (c 2. att.). Turpretim, apstarojot to pašu virsmu ar lāzera intensitāti $I_2=18\text{MW/cm}^2$ uz virsmas parādījās poras (d,e 2. att.), kas liecina par virsmas tuvošanos kušanas temperatūrai [10].



1.attēls. *i*-tipa Ge parauga VAR 1.- pēc kodināšanas H_2O_2 ($S_1=S_2=S_{\min}=100\text{cm/s}$), $B_z=0\text{T}$; 2. - pēc kodināšanas H_2O_2 magnētiskā laukā $B_z=0.2\text{T}$; 3. - pēc mehāniskas apstrādes $S_1=S_{\min}$ un $S_2=S_{\max}=10^4\text{cm/s}$, $B_z=0.2\text{T}$; 4. - pēc apstarošanas ar lāzeru $I_1=2.5\text{MW/cm}^2$ $S_1=S_{\min}$ un $S_2=0$, $B_z=0.2\text{T}$; 5. - pēc apstarošanas ar lāzeru $I_2=18\text{MW/cm}^2$ un $S_1=S_{\min}$ un $S_2=S_{\max}>10^4\text{cm/s}$, $B_z=0.2\text{T}$.



2.Attēls. Optiskā mikroskopā uzņemtie virsmas attēli: a - pēc kodināšanas H_2O_2 ; b - pēc mehāniskās apstrādes; c - pēc apstarošanas ar lāzeru pie intensitātes $I_1=2,5 MW/cm^2$; d - pēc apstarošanas ar lāzeru pie intensitātes $I_2=18 MW/cm^2$; e – uzskatāmi parādītas poras uz parauga virsmas pēc apstarošanas ar lāzeru pie intensitātes $I_2=18 MW/cm^2$. Attēlos ir redzams, ka pēc pirmās apstarošanas ar lāzeru, virsmas morfoloģija neizmainījās. Pēc otrās apstarošanas ar lāzeru uz pusvadītāja virsmas parādījās poras.

Apkopojot eksperimentālos rezultātus mēs piedāvājam sekojošu lāzera starojuma un pusvadītāja mijiedarbības mehānisma modeli.

Modelis

Apstarojot i-Ge paraugu ar stipri absorbējamo lāzera starojumu, pusvadītājā rodas liels temperatūras gradients, tā rezultātā pusvadītājā pie virsmas veidojas starpmezglu atomi un vakances, kuri kustas pretējos virzienos: vakances pārvietojas tilpumā, bet starpmezglu atomi – uz virsmu – Termogradianta efekts [11]. Saskaņā ar James un Lark-Gorovitz ūdeņraža modelim [12] vakances uzlādētas pozitīvi, bet starpmezglu atomi negatīvi tāpēc veidojas p-n pāreja. Potenciālo barjeru veidošanu pie virsmas rezultātā elektronu un caurumu rekombinācijas temps samazinās un virsmas rekombinācijas ātrums S tiecas uz nulli, tas atbilst 1.att. 4. līknei.

Lai tieši izpētītu ar lāzera starojumu izveidotās p-n pārejas īpašības, mēs plānojam izveidot omiskos kontaktus uz apstarotās un tai pretējās virsmas.

Secinājumi

1. Ir parādīta iespēja veidot p-n pāreju pie i-tipa pusvadītāja virsmas ar lāzera starojumu.
2. Galvenā loma p-n pārejas veidošanā pusvadītājā ir lielam temperatūras gradientam, kura rezultātā starpmezglu atomi un vakances pārvietojas pretējos virzienos: vakances pusvadītāja tilpumā, bet starpmezglu atomi – uz virsmu.

Literatūra

1. J.Varley. Subthreshold mechanism of point defects generation in dielectrics, *J.Nucl.Energy*, **1954**, 1, 130.
2. M.I. Klinger, V.V. Emtsev, T.V. Mashovets et al. Ionization model of intrinsic defect generation in semiconductors, *Rad. Effects*, **1981**, 56, 229.
3. L.C. Kimmerling, J.L. Benton. Recombination model of point defect generation in semiconductors, *Physica B*, **1983**, 116, 297.
4. A. Medvid', Fedorenko, L. and Snitka V. The mechanism of generation of donor centres in p-InSb by laser radiation. *Appl. Sur. Sc.*, **1999**, 14, 280-285.
5. A. Medvid', J. Blums, V. Kolesnikov, A. Salmanov. Creation of donors in crystalline Si by YAG laser radiation, *Latvian J. of Physics and Technical Sciences*, **1992**, N5, 28-31.
6. A. Medvid', Y. Hatanaka, D. Korbutjak, L. Fedorenko, S. Krilyuk, and V.Snitka, Generation of the A-centres at the surface of CdTe(Cl) by YAG:Nd laser radiation. *Applied Surface Science*, **2002**, Vol.197-198, 124-129.
7. H. Welker. Zur Theorie der galvanomagnetischen Effekte bei gemischter Leitung, *Z.Naturforsch.* **1951**, Z A6, 184, 7.
8. А. П. Медвидь. Магнитоконцентрационный эффект в n-InSb. *Изв.АН Латв.ССР, серия физ. и техн. наук*, **1977**, N.4, 70-77.
9. A. Medvid', Y. Fukuda, A. Michko, P. Onufrievs, and Y. Anma. 2D lattice formation on a surface of Ge single crystal by YAG:Nd laser, *Appl. Sur. Sci.*, **2005**, Vol. 244/1-4, 120-123.
10. A. Medvid', A. Mychko, A. Krivich, and P. Onufrievs. Formation of pores in Ge single crystal by laser radiation, *Appl. Sur. Sci.*, **2005**, Vol. 244/1-4, 203-208.
11. A. Medvid'. Redistribution of the Point Defects in Crystalline Lattice of Semiconductor in Nonhomogeneous Temperature Field. *Defect and Diffusion Forum*, **2002**, Vols. 210-212 (Defects and Diffusion in Semiconductors - an Annual Retrospective), 89-101.

12. *Atomic Diffusion in Semiconductors*. D. Shaw, Ed.; Plenum Press London and New York, 1973, pp.260-261.

A. Medvids, D. Grabovskis, P. Gavars, P. Onufrijevs, E. Daukšta. Radiācijas defektu ģenerācijas un telpiskā sadalījuma mehānisma pētīšana pusvadītājos. Defektu inženierijā tika pierādīts, ka pašdefektiem pusvadītāju ierīcēs ir ne tikai negatīva loma, bet pašdefektus var arī izmantot lietderīgi. Eksperimentāli ir parādīta iespēja veidot p-n pāreju pie i-tipa pusvadītāja virsmas ar lāzera starojumu.

Apkopojot eksperimentālos rezultātus tiek piedāvāts lāzera starojuma un i-tipa vadāmības pusvadītāja mijiedarbības mehānisma modelis. Galvenā loma p-n pārejas veidošanā pusvadītājā ir lielam temperatūras gradientam, kura rezultātā starpmezglu atomi un vakances pārvietojas pretējos virzienos: vakances pusvadītāja tilpumā, bet starpmezglu atomi – uz virsmu. Vakances uzlādētas pozitīvi, un starpmezglu atomi- negatīvi tādejādi veidojas p-n pāreja. Tas tika pierādīts ar Volt-Ampēra raksturlīknēs mērīšanas metodi.

A. Medvid', D. Grabovskis, P. Gavars, P. Onufrijevs, E. Daukšta. Investigation of mechanism of radiation defects generation and redistribution in semiconductors. Defects engineering has shown that intrinsic defects in semiconductor devices have not only negative function, but also positive. Experiments have shown a possibility to form p-n junction at a surface of i-type semiconductor by laser radiation.

Summarising the experimental results, the model of laser radiation interaction with i- type semiconductor is developed. The main role in p-n junction formation is to high gradient of temperature, as a result interstitial atoms and vacancies drift opposite directions: vacancies into semiconductor bulk, but interstitial atoms to the surface. Vacancies have positive charge, but interstitial atoms have negative one, thereby, p-n junction is formed. The model was proved by Volt-Ampere characteristics measurement method.

Медвидс А., Грабовскис Д., Гаварс П., Онуфриевс П., Даукшта Э. Исследование механизма генерации радиационных дефектов и их перераспределение в полупроводниках. Инженерия дефектов показала, что собственные дефекты в полупроводниковых устройствах играют не только негативную роль, но так же и позитивную. Эксперименты показали возможность формирования p-n перехода в приповерхностном слое i-типа полупроводника под воздействием лазерного излучения.

Обобщив полученные результаты, предложена модель взаимодействия лазерного излучения с i-типа полупроводником. Главная роль в создании p-n перехода принадлежит большому градиенту температуры, в результате которого межузельные атомы и вакансии перемещаются в противоположных направлениях: вакансии в объем полупроводника, а межузельные атомы – к поверхности полупроводника. Так как, вакансии имеют положительный заряд и межузельные атомы отрицательны, то формируется p-n переход. Модель подтверждается измерениями Вольтамперных характеристик.