

**С. В. Луньов<sup>1</sup>, А. І. Зіміч<sup>1</sup>, П. Ф. Назарчук<sup>1</sup>, В. Т. Маслюк<sup>2</sup>, І. Г. Мегела<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Луцький національний технічний університет, Луцьк

<sup>2</sup> Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ В ОПРОМІНЕНИХ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ МОНОКРИСТАЛАХ n-Ge**

Досліджено ефект Холла для монокристалів n-Ge, опромінені різними потоками електронів з енергією 10 МеВ. Враховуючи отримані експериментальні результати, знайдено енергетичний спектр рівнів радіаційних дефектів та встановлено їхні основні параметри. На основі розв'язків систем рівнянь електронейтральності показано, що створеним радіаційним дефектам належить лише два глибоких енергетичних рівні ( $E_c - 0,27$ ) eВ та ( $E_v + 0,27$ ) eВ. Незначну зміну енергетичного положення цих рівнів при збільшенні дози опромінення можна пояснити впливом внутрішніх механічних напружень, що виникають у ґратці германію навколо утворених радіаційних дефектів.

*Ключові слова:* радіаційні дефекти, глибокі рівні, внутрішні напруження, монокристали германію.

**С. В. Луньов<sup>1</sup>, А. И. Зимич<sup>1</sup>, П. Ф. Назарчук<sup>1</sup>, В. Т. Маслюк<sup>2</sup>, И. Г. Мегела<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Луцкий национальный технический университет, Луцк,

<sup>2</sup> Институт электронной физики НАН Украины, Ужгород

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ОБЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ МОНОКРИСТАЛЛАХ n-Ge**

Исследован эффект Холла для монокристаллов n-Ge, облученных различными потоками электронов с энергией 10 МэВ. Учитывая полученные экспериментальные результаты, найден энергетический спектр уровней радиационных дефектов и установлены их основные параметры. На основе решений систем уравнений электронейтральности показано, что созданным радиационным дефектам отвечают только два глубоких энергетических уровня ( $E_c - 0,27$ ) эВ и ( $E_v + 0,27$ ) эВ. Незначительное изменение энергетического положения этих уровней при увеличении дозы облучения можно объяснить влиянием внутренних механических напряжений, возникающих в решетке германия вокруг образованных радиационных дефектов.

*Ключевые слова:* радиационные дефекты, глубокие уровни, внутренние напряжения, монокристаллы германия.

**S. V. Luniov<sup>1</sup>, A. I. Zimych<sup>1</sup>, P. F. Nazarchuk<sup>1</sup>, V. T. Maslyuk<sup>2</sup>, I. G. Megela<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Lutsk National Technical University, Lutsk

<sup>2</sup> Institute of Electron Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Uzhhorod

### **RADIATION DEFECTS PARAMETERS DETERMINATION IN n-Ge SINGLE CRYSTALS IRRADIATED BY HIGH-ENERGY ELECTRONS**

Hall effect for single crystals of n-Ge, irradiated by various streams of electrons with an energy of 10 MeV is investigated. Taking into account the experimental results, the energy spectrum of radiation defects is found and established their parameters. On the basis solutions of electroneutrality equations systems is shown that the created radiation defects correspond only two deep energy levels ( $E_c - 0,27$ ) eV and ( $E_v + 0,27$ ) eV. A slight change of energy position of these levels with irradiation dose increasing can be explained by internal mechanical stresses influence that arise in the germanium lattice of around created of radiation defects.

*Keywords:* radiation defects, deep levels, internal stress, single crystals of germanium.

#### **REFERENCES**

1. Koshkin V.M., Volovichev N.V, Gurevich Yu.G. et al. Materials and devices with a huge resource of radiation // Materials of scintillation techniques. - Kharkiv: Institute for Single Crystals, 2006. - P. 60. (Rus)
2. Radiation semiconductor technology problems / Ed. L. S. Smirnov. - Novosibirsk: Nauka, 1980. - P. 291 p. (Rus)
3. Claes C., Simoen E. Germanium-Based Technologies: From Materials to Devices. - Elsevier Science, 2007. - 476 p.
4. Levy S., Shlimak I., Dressler D.H. et al. Structure and Spatial Distribution of Ge Nanocrystals Subjected to Fast Neutron Irradiation // Nanomater. nanotechnol. - 2011. - Vol. 1, No. 1. - P. 52 - 57.
5. Krasilnik K.E. Kudryavtsev A.N., Kachemtsev D.N. et al. Comparative analysis of radiation effects on the

- electroluminescence of Si and SiGe/Si(001) heterostructures with self-assembled Islands // *Semiconductors*. - 2011. - Vol. 45, Iss. 2. - P. 225 - 229.
6. *Sobolev N.A.* Radiation effects in Si-Ge quantum size structure // *Semiconductors*. - 2013. - Vol. 47, Iss. 2. - P. 217 - 227.
  7. *Andrievski R.A.* Nanostructures under extremes // *Uspekhi fizicheskikh nauk*. - 2014. - Vol. 57 (10). - P. 945 - 958.
  8. *Azarenkov N.A., Voevodyn V.N., Kyrychenko V.G., Kovtun G.P.* // *Visn. Kharkiv. un-tu im. V. N. Karazina. Seriya: fizychna «Yadra, chastynky, polya»*. - No. 887, Iss. 1 /45/. - 2010. - P. 4 - 24. (Rus)
  9. *Uglov V.V.* Radiation effects in solids. - Minsk: BSU, 2007. - P. 167. (Rus)
  10. *Dolgolenko A.P.* Modification of radiation defects in Si and Ge by background impurity // *Nuclear Physics and Atomic Energy*. - 2013. - Vol. 14, No. 4. - P. 377 - 383.
  11. *Mooney P.M., Poulin F., Bourgoin J.C.* Annealing of electron-induced defects in n-type germanium // *Phys. Rev. B*. - 1983. - Vol. 28, No. 6. - P. 3372 - 3377.
  12. *Roro K.T., van Rensburg P.J. Janse, Auret F.D., Coelho S.* Effect of alpha-particle irradiation on the electrical properties of n-type Ge // *Physica B: Condensed Matter*. - 2009. - Vol. 404. - P. 4496 - 4498.
  13. *Patel N.S., Monmeyran C., Agarwal A., Kimerling L.C.* Point defect states in Sb-doped germanium // *J. Appl. Phys.* - 2015. - Vol. 118. - P. 155702.
  14. *Stein H.J.* Light-Sensitive Defect Formation by Electron and Neutron Irradiation of n- and p-type Germanium near 80 K // *J. Appl. Phys.* - 1972. - Vol. 43. - P. 138.
  15. *Dolgolenko A.P., Litovchenko P.G., Varentsov M.D. et al.* Particularities of the formation of radiation defects in silicon with low and high concentration of oxygen // *Phys. Stat. Sol. (b)*. - 2006. - Vol. 243, No. 8. - P. 1842 - 1852.
  16. *Vitovskij N.A., Emtsev V.V., Mashovets T.V., Mikhnovich V.V.* // *FTP*. - 1989. - Vol. 23, Iss. 1. - P. 184 - 185. (Rus)
  17. *Fage-Pedersen J., Larsen A.N., Mesli A.* Irradiation-induced defects in Ge studied by transient spectroscopies // *Phys. Rev. B*. - 2000. - Vol. 62, No. 15. - P. 10116 - 10125.
  18. *Kireev P.S.* *Physics of Semiconductors*. - M.: Vyshcha shkola, 1969. - 590 p. (Rus)
  19. *Novikov L.S., Voronina E.N.* *Prospects for the use of nanomaterials in space technology*. - Moskva: University Book, 2008. - 188 p. (Rus)
  20. *Novikov L., Voronina E.* Modeling of radiation effects on nanostructures features // *Proc. of XIII Intercolleges scientific school of young professionals "Concentrated energy flows in the space technology, electronics, ecology and medicine"* / Ed. B. S. Ishkhanov, L. S. Novikov. - Moskva: SINP 2012. - P. 133 - 141. (Rus)
  21. *Tarasova E.A.* // *Vest. Nizhegorodskogo un-ta im. N. I. Lobachevskogo*. - 2014. - No. 1 (2). - P. 100 - 115. (Rus)

Надійшла 21.01.2016  
Received 21.01.2016