

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРІВ

SENSOR MATERIALS

УДК 621.315.592; PACS number(s): 61.82. Fk, 72.20.Mu

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2019.1.159490>

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА МАГНІТНУ ЧУТЛИВІСТЬ МОНОКРИСТАЛІВ n-Si <P>

¹С. В. Луньов, ¹А. І. Зіміч, ²В. Т. Маслюк, ²І. Г. Мегела

¹Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, 43018, luniovser@ukr.net

²Інститут електронної фізики НАН України,
вул. Університетська, 21, м. Ужгород, 88017, volodymyr.maslyuk@gmail.com

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА МАГНІТНУ ЧУТЛИВІСТЬ МОНОКРИСТАЛІВ n-Si <P>

С. В. Луньов, А. І. Зіміч, В. Т. Маслюк, І. Г. Мегела

Анотація. Досліджено вплив опромінення різними потоками швидких електронів з енергією 12 МеВ на магнітну чутливість монокристалів n-Si <P>. На основі вимірювань інфрачервоної Фур'є-спектроскопії та ефекту Холла було встановлено, що основними радіаційними дефектами, які утворились в кремнії при електронному опроміненні, є комплекси C_iO_i , А-центри (комплекси VO_i) та А-центри, які додатково модифіковані домішкою фосфору (комплекси VO_iP). Проведені розрахунки показують, що зі збільшенням потоку електронного опромінення магнітна чутливість досліджуваних зразків кремнію зростає. Це пояснюється збільшенням ступеня компенсації монокристалів n-Si <P>, що призводить до зростання сталої Холла і відповідно магнітної чутливості.

Ключові слова: монокристали n-Si <P>, радіаційні дефекти, стала Холла, магнітна чутливість

THE IMPACT OF ELECTRONIC IRRADIATION ON THE MAGNETIC SENSITIVITY OF n-Si <P> SINGLE CRYSTALS

S. V. Luniov, A. I. Zimych, V. T. Maslyuk, I. G. Megela

Abstract. The impact of irradiation by different flows of fast electrons with the energy of 12 MeV on the magnetic sensitivity of n-Si <P> single crystals is investigated. On the basis of the measurements of Fourier infrared spectroscopy and Hall effect, it has been established that the main radiation defects, formed in silicon at the electron irradiation, are C_iO_i complexes, A-centers (VO_i complexes), and A-centers, which are additionally modified with an impurity of phosphorus (VO_iP complexes). The performed calculations show that with the increasing of the flow of electron irradiation the magnetic sensitivity for the investigated samples of silicon increases. This is explained by the increasing of the degree of compensation of n-Si <P> single crystals, which leads to an increase of Hall constant and magnetic sensitivity respectively.

Keywords: n-Si <P> single crystals, radiation defects, Hall constant, magnetic sensitivity

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МАГНИТНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ n-Si <P>

С. В. Лунёв, А. И. Зимич, В. Т. Маслюк, И. Г. Мегела

Аннотация. Исследовано влияние облучения различными потоками быстрых электронов с энергией 12 МэВ на магнитную чувствительность монокристаллов n-Si <P>. На основе измерений инфракрасной Фурье-спектроскопии и эффекта Холла было установлено, что основными радиационными дефектами, образовавшимися в кремнии при электронном облучении, являются комплексы C_iO_i , А-центры (комплексы VO_i) и А-центры, которые дополнительно модифицированные примесью фосфора (комплексы VO_iP). Проведенные расчеты показывают, что с увеличением потока электронного облучения магнитная чувствительность исследуемых образцов кремния возрастает. Это объясняется увеличением степени компенсации монокристаллов n-Si <P>, что приводит к росту постоянной Холла и соответственно магнитной чувствительности.

Ключевые слова: монокристаллы n-Si <P>, радиационные дефекты, постоянная Холла, магнитная чувствительность.

Вступ

В даний час в сенсорній техніці найширше застосування знайшли датчики магнітного поля, що використовуються для вимірювання індукції магнітного поля та безконтактно-го визначення механічних та електричних впливів (реле, датчики положення, вимірювачі струму та потужності, запобіжники і т.д.) [1-5]. Наприклад, проблема вимірювання та контролю струмів завжди була, є і буде актуальною для багатьох поколінь розробників нової техніки, а надійне та точне перетворення струму є необхідним для галузі при-

ладобудування та електроніки [2, 4]. Точне перетворення струму дозволяє створювати нові системи інверторного управління. В даний час приблизно 15% всіх електроприводів мають інверторне управління, що дозволяє зберегти до 50% затраченої електроенергії. Нині на ринку магнітної сенсорної техніки представлений широкий вибір вимірювачів параметрів магнітного поля різних типів та конструкцій. Одним з найбільш поширених типів магніточутливих елементів є датчики Холла [4-8]. Для конструювання напівпровідникових датчиків Холла сьогодні широко використовується кремній, завдяки своїм уні-

кальним властивостям, практично необмеженим природним запасам, комерційній доступності, технології вирощування [9-11]. Розробка методів покращення функціональних властивостей напівпровідникових матеріалів є пріоритетним напрямком досліджень сучасного напівпровідникового матеріалознавства. Зокрема, прогнозований вплив радіації на напівпровідники є потужним технологічним інструментом цілеспрямованої зміни фізичних властивостей напівпровідників та створення на їх основі різних елементів сенсорної електроніки з необхідними характеристиками [12].

Експериментальні результати та їх обговорення

Тому нами проводились дослідження впливу опромінення різними потоками швидких електронів з енергією 12 МеВ на магнітну чутливість монокристалів n-Si <P>. У роботі досліджувались монокристалічні зразки кремнію n-типу провідності, вирощені за методом Чохральського. Концентрація легуючої домішки фосфору для досліджуваних зразків складала $N_d = 2,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Монокристали кремнію опромінювались при кімнатній температурі на мікротроні М-30. Для ідентифікації природи утворених радіаційних дефек-

тів проводились вимірювання інфрачервоної Фур'є-спектроскопії та ефекту Холла. На рис. 1 представлено спектри поглинання для монокристалів n-Si, опромінених потоком електронів $1 \cdot 10^{17} \text{ ел./см}^2$. Спектри досліджувались в температурному інтервалі від 10 К до 300 К. Лінії поглинання з частотами 836 та 885 см^{-1} відповідають А-центру (комплекс VO_i) [13, 14].

Властивості даного дефекту на сьогодні досить добре вивчені [15-17]. Дефект вносить в заборонену зону кремнію глибокий акцепторний рівень $E_C - 0,17 \text{ eV}$ і спостерігається в спектрах ІЧ-поглинання як в нейтральному (лінія поглинання 836 см^{-1} [18, 19]), так і негативно зарядженому (лінія поглинання 885 см^{-1} [19, 20]) стані. Відпалюється А-центр в діапазоні температур 300-400 $^\circ\text{C}$. Лінія поглинання з частотою 865 см^{-1} відповідає комплексу C_iO_i [21,22]. При радіаційному опроміненні вуглець, згідно з обмінним механізмом Воткінса [23], виштовхується власними міжвузлями з вузлів у міжвузлове положення з утворенням стабільного дефекту (C_i). При дифузії у ґратці міжвузловий вуглець (C_i) ефективно взаємодіє з домішками, утворюючи електрично активні дефекти. У кремнії, вирощеному за методом Чохральського, C_i ефективно взаємодіє з міжвузловим киснем (O_i), в результаті чого утворюється комплекс C_iO_i [24]. Даний

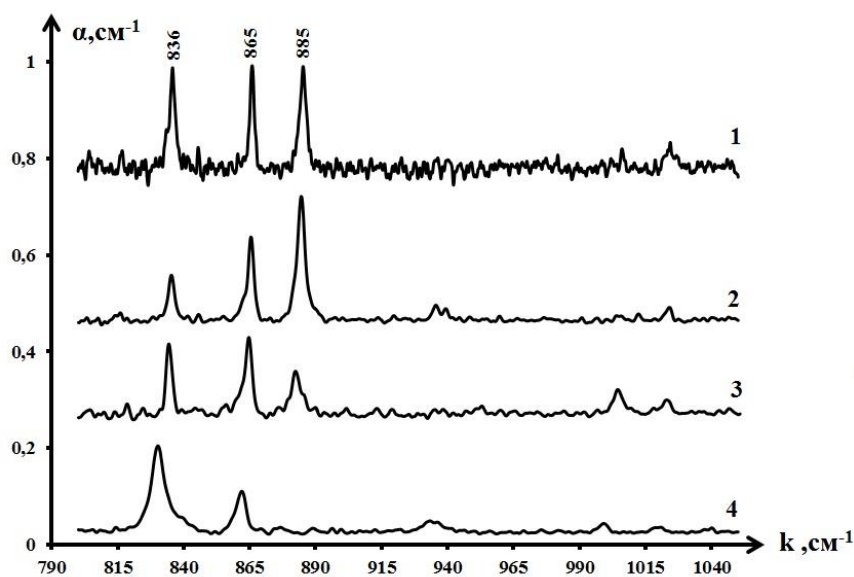


Рис. 1. Спектри поглинання для опромінених монокристалів n-Si потоком електронів $1 \cdot 10^{17} \text{ ел./см}^2$, досліджені при різних температурах T, К: 1 – 10, 2 – 80, 3 – 150, 4 – 300.

комплекс є стабільним до температур $T=600$ К [25] і створює в забороненій зоні кремнію глибокий рівень $E_V + 0,35$ еВ [26]. Як відомо [27], в опромінену кремнію швидкими електронами з енергією $E > 10$ МеВ поряд з точковими дефектами починають утворюватись також області розвпорядкування, ядра яких складаються з дивакансій або багатовакансіонних комплексів. Проте, в нашому випадку енергетичні рівні таких дефектів (наприклад, дивакансії, які формують ядро області розвпорядкування) не спостерігались, оскільки концентрація утворених областей розвпорядкування, все ж таки, напевно, є набагато меншою за концентрацію комплексів VO_i та C_iO_i . Енергія активації радіаційних дефектів для опроміненого кремнію потоком електронів $\Phi=1 \cdot 10^{17}$ ел./см², визначена на основі температурних залежностей концентрації електронів (рис. 2, крива 3), виявилась рівною

$E_A = E_c - (0,107 \pm 0,005)$ еВ, що відповідає А-центру, який додатково модифікований домішкою фосфору (комплекс VO_iP) [28]. Для кремнію, опроміненого потоком електронів $\Phi=2 \cdot 10^{17}$ ел./см², характерною є зміна нахилу температурної залежності концентрації при температурі $T \approx 195$ К (див. рис. 2, крива 4). При температурах $T < 195$ К енергія активації утворених радіаційних дефектів в кремнії, як і для випадку опромінення потоком $\Phi=1 \cdot 10^{17}$ ел./см², відповідає комплексу VO_iP , а для температур $T > 195$ К – комплексу VO_i . При температурах $T > 290$ К радіаційні дефекти, які належать А-центрам, будуть повністю іонізованими, оскільки концентрація електронів виходить на насичення (рис. 2, криві 2-4), а в спектрі поглинання зникає лінія 885 см⁻¹ (рис. 1, крива 4), що відповідає негативно зарядженому стану А-центра. Глибокий рівень

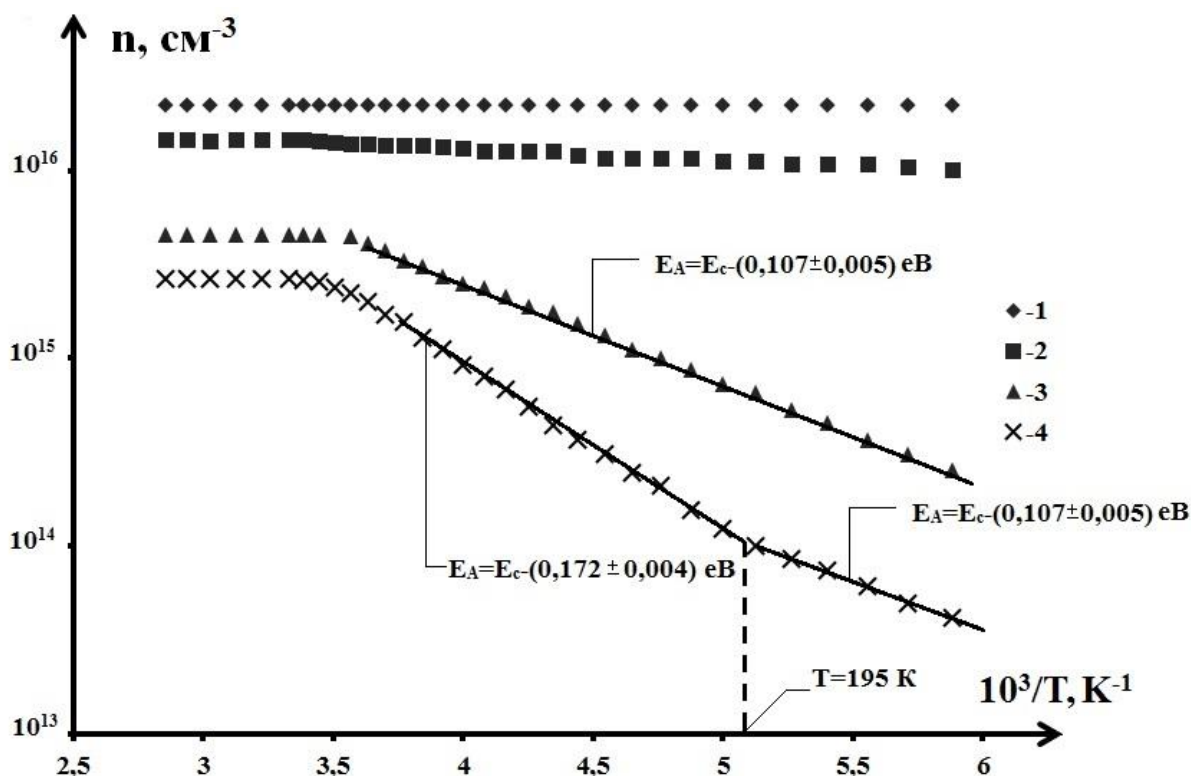


Рис. 2. Температурні залежності концентрації електронів для опромінених монокристалів n-Si різними потоками електронів Φ , ел./см²: 1 – 0, 2 – $5 \cdot 10^{16}$, 3 – $1 \cdot 10^{17}$, 4 – $2 \cdot 10^{17}$.

$E_V + 0,35eV$ в даному випадку буде повністю заповнений електронами і для всього досліджуваного діапазону температур не буде проявлятися його іонізація. Також зі збільшенням потоку електронного опромінення зростатиме концентрація радіаційних дефектів, які відповідають комплексам SiO_i . Це пояснює зменшення концентрації електронів в зоні провідності опромінених монокристалів кремнію по відношенню до неопромінених зразків зі збільшенням потоку електронного опромінення при температурах вищих за кімнатну.

На рис. 3 та рис. 4 представлено залежності холівської напруги від індукції зовнішнього магнітного поля для опромінених монокристалів n-Si різними потоками електронів при температурах $T=300\text{ K}$ та $T=170\text{ K}$ відповідно. Як слідує з даних рисунків, всі залежності $U_H = f(B)$ є лінійними, що свідчить про другорядну роль ефекту магнітоопору.

За умови, коли напрямок струму та магнітного поля взаємно перпендикулярні, то згідно з [29], холівську напругу U_x можна записати у вигляді:

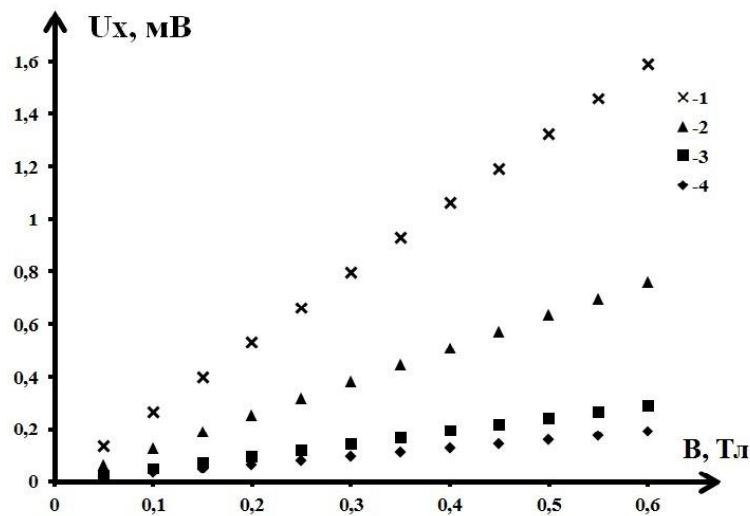


Рис. 3. Залежності холівської напруги від індукції зовнішнього магнітного поля при $T=300\text{ K}$ для опромінених монокристалів n-Si різними потоками електронів Φ , ел./ cm^2 : 1 – $2 \cdot 10^{17}$, 2 – $1 \cdot 10^{17}$, 3 – $5 \cdot 10^{16}$, 4 – 0.

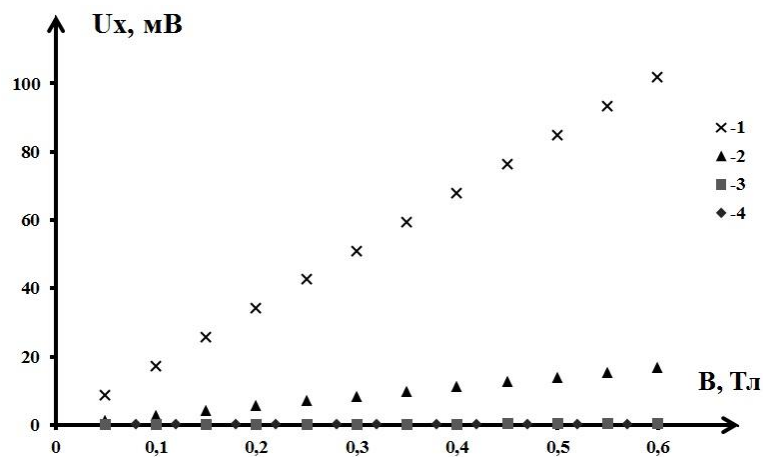


Рис. 4. Залежності холівської напруги від індукції зовнішнього магнітного поля при $T=170\text{ K}$ для опромінених монокристалів n-Si різними потоками електронів Φ , ел./ cm^2 : 1 – $2 \cdot 10^{17}$, 2 – $1 \cdot 10^{17}$, 3 – $5 \cdot 10^{16}$, 4 – 0.

$$U_x = \frac{R_x IB}{d} = \frac{AIB}{qnd}, \quad (1)$$

де R_x – стала Холла, I – сила струму, яка протікає через зразок, B – індукція магнітного поля, d – товщина зразка в напрямку магнітного поля, n – концентрація вільних носіїв струму, A – Холл – фактор, q – модуль заряду електрона.

Однією з основних характеристик датчиків Холла є коефіцієнт магнітної чутливості β [6, 30]:

$$\beta = \frac{\partial U_H}{\partial B}. \quad (2)$$

Якщо R_x не залежить від магнітного поля (як для нашого випадку), то вираз (2), з врахуванням (1), можна записати так:

$$\beta = \frac{U_H}{B} = \frac{R_x I}{d} = \frac{AI}{qnd}, \quad (3)$$

Згідно з (3), відношення коефіцієнтів магнітної чутливості опроміненних зразків кремнію β до неопроміненних β_0 рівне:

$$\frac{\beta}{\beta_0} = \frac{R_x(\Phi)}{R_x(0)} \quad (4)$$

На рис. 5 представлено температурні залежності $\frac{\beta}{\beta_0} = f(T)$ для опроміненних монокристалів кремнію різними потоками електронів. Як видно з рис. 5, збільшення потоку опромінення призводить до зростання магнітної чутливості монокристалів n-Si, особливо при зменшенні температури. Причиною такого зростання є утворення при електронному опроміненні радіаційних дефектів з глибокими енергетичними рівнями, які відповідають комплексам VO_i , VO_iP та C_iO_i . Такі дефекти виконують роль компенсуючих центрів по відношенню до основних носіїв струму в опроміненних монокристалах n-Si. Зростання ступеня компенсації n-Si при збільшенні потоку електронного опромінення призводить до зростання сталої Холла (зменшення концентрації носіїв струму), а отже й магнітної чутливості.

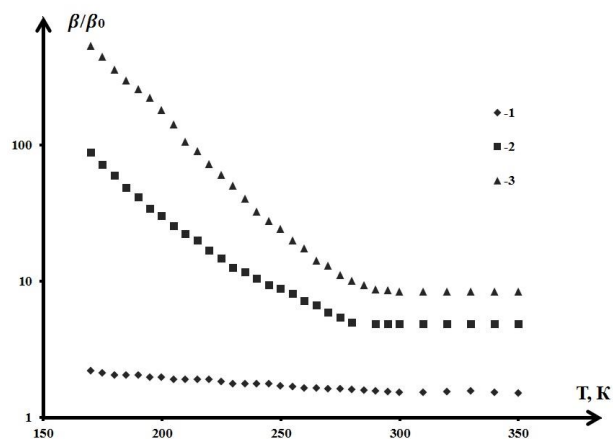


Рис. 5. Залежності $\frac{\beta}{\beta_0} = f(T)$ для опроміненних монокристалів n-Si різними потоками електронів Φ , ел./см²: 1 – $5 \cdot 10^{16}$, 2 – $1 \cdot 10^{17}$, 3 – $2 \cdot 10^{17}$.

Висновки

Таким чином, магнітна чутливість напівпровідникового детектора Холла суттєво залежить від концентрації носіїв струму, оскільки сила струму I та товщина зразка d можуть бути заданими (для нашого випадку $I=1$ мА, $d=0,9$ мм). Тому зменшення концентрації носіїв струму дозволить збільшити коефіцієнт магнітної чутливості детектора Холла. Це для напівпровідникового монокристалу можна реалізувати двома шляхами: 1) Зменшити ступінь легування домішками. Але в даному випадку виникає проблема контролю концентрації домішок при виробництві особливо чистого кремнію. А це, в свою чергу, також значно підвищує вартість таких технологій; 2) Збільшити ступінь компенсації напівпровідникових монокристалів. Другий спосіб збільшення магнітної чутливості може бути досягнутий за рахунок опромінення напівпровідника, в результаті якого утворюються стабільні в часі радіаційні дефекти. Оскільки товщина детектора Холла в датчиках Холла складає, як правило, 0,2-0,3 мм, а струм може змінюватись від одиниць до десятків міліампер [6], то зміна співвідношення даних параметрів також дозволить підвищити магнітну чутливість в десятки разів.

Одержані результати можуть знайти своє практичне використання для конструювання

на основі опроміненого n-Si, легованого домішкою фосфору заданої концентрації, датчиків Холла, які зможуть функціонувати в широкому діапазоні температур. Основним недоліком таких датчиків при температурах вимірювань менших за кімнатну є температурна залежність магнітної чутливості. Останній недолік можна усунути температурною калібруванням сигналу, яка використовується у подвійних датчиках магнітного поля та температури [31, 32].

Автори висловлюють щире подяку науковому співробітнику відділу фізики радіаційних процесів Інституту фізики НАН України Сосніну М.Г. за допомогу в проведенні досліджень спектрів оптичного поглинання для опромінених монокристалів n-Si.

Список використаної літератури

- [1]. Ch. Schott, P. A. Besse, R. S. Popovic. Planar Hall effect in the vertical Hall sensor // *Sensors and Actuators A: Physical*, 85 (1-3), pp. 111–115 (2000).
- [2]. A. Danilov. *Sovremennyye promyshlennyye datchiki toka* // *Sovremennaya elektronika*, 10, s. 26-35. (2004).
- [3]. A. F. Aleynikov, V. A. Gridchin, M. P. Tsapenko. *Datchiki (perspektivnyye napravleniya razvitiya)*. NGTU, Novosibirsk, 176 s. (k2001).
- [4]. A. F. Kaperko. *Analiz sostoyaniya, tendentsii razvitiya i novyye razrabotki datchikov preobrazovateley informatsii system izmereniya, kontrolya i upravleniya* // *Izmeritel'naya tekhnika*, 1, s. 3-7 (1998).
- [5]. G. Ya. Portnoy, O. A. Bolotin, K. P. Razumovskiy, S. A. Starkov, O. Ye. Yatsenko. *Tokovyye kleshchi: novyy vzglyad na staryye pribory* // *Komponenty i tekhnologii*, 1(162), s. 34-36 (2015).
- [6]. V. A. Antropov, L. Kh. Antropova. *Primeneniye gal'vanomagnitnykh yavleniy v poluprovodnikakh dlya sozdaniya priborov i ustroystv SVCH diapazona*. PGU, Penza, 166 s. (2011).
- [7]. S. Tumanski. *Modern magnetic field sensors – a review* // *Przeglad elektrotechniczny*, 10, pp. 1–12 (2013).
- [8]. V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, O. P. Bilylivs'ka, O. M. Zhahlovs'ka. *Ohlyad hal'vanomagnitnykh vymiryuvachiv parametriv mahnitnoho polya* // *Visnyk NTU «KHPI»*, 42 (948), s. 00-00. (2012).
- [9]. H. S. Nalwa. *Silicon-Based Materials and Devices*. Academic Press, San Diego, 609 p. (2001).
- [10]. P. Siffert, E. Krimmel. *Silicon*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 550 p. (2004).
- [11]. S. Fumio. *Semiconductor Silicon Crystal Technology*. Elsevier Science & Technology, 435 p. (2012).
- [12]. L. S. Smirnov. *Voprosyi radiatsionnoy tehnologii poluprovodnikov*. Nauka, Novosibirsk, 291 s. (1980).
- [13]. G. D. Watkins, J. W. Corbett. *Defects in Irradiated Silicon. I. Electron Spin Resonance of the Si- A Center* // *Phys. Rev.*, 121(4), pp. 1001–1015 (1961).
- [14]. J. W. Corbett, G. D. Watkins, R. M. Chrenko, R. S. McDonald. *Defects in Irradiated Silicon. II. Infrared Absorption of the Si- A Center* // *Phys. Rev.*, 121(4), pp. 1015–1022 (1961).
- [15]. S. Fumio. *Oxygen in Silicon*. Academic, London, 679 p. (1994).
- [16]. V. P. Markevich, A. R. Peaker, L. I. Murin, N. V. Abrosimov. *Vacancy-oxygen complex in Si_{1-x}Ge_x crystals* // *Appl. Phys. Lett.*, 82(16), pp. 2652-2654 (2003).
- [17]. S. Pizzini. *Point Defects in Group IV Semiconductors: Common Structural and Physico-chemical Aspects* // *Materials Research Forum LLC*, 10, p. 134 (2017).
- [18]. R. C. Newman. *Oxygen diffusion and precipitation in Czochralski silicon* // *J. Phys.: Condens. Matter.*, 12(25), pp. R335-R365 (2000).
- [19]. L. I. Murin, V. P. Markevich, T. Hallberg, J. L. Lindström. *New infrared vibrational bands related to interstitial and substitutional oxygen in silicon* // *Sol. St. Phenomena*, 69-70, pp. 309-314 (1999).
- [20]. A. R. Bean, R. C. Newman. *An infra-red study of defects produced in n-type silicon by electron irradiation at low temperatures* // *Sol. St. Commun.*, 9, pp. 271-274 (1971).
- [21]. J. M. Trombetta, G.D. Watkins.

Identification of an interstitial carbon-interstitial oxygen complex in silicon // *Appl. Phys. Lett.*, 51(14), pp. 1103-1106 (1987).

[22]. P. Pichler. *Intrinsic Point Defects, Impurities, and their diffusion in Silicon*. Springer-Verlag Wien, New York, 554 p. (2004).

[23] G. D. Watkins, K. L. Brower. EPR Observation of the Isolated Interstitial Carbon Atom in Silicon // *Phys. Rev. Lett.*, 36(22), pp. 1329-1332 (1976).

[24] M. I. Hrytsenko, O. O. Kobzar, Yu. V. Pomozov, M. H. Sosnin, L. I. Khirunenko. Efektyvnist' vzayemodiyi mizhvuzlovynnoho vuhletsyu z kysnem, olovom ta vuhletsem zamishchennya v oprominenomu kremini // *Ukr. fiz. zhurn.*, 55(2), s. 223-228 (2010).

[25]. G Davies, A. S. Oates, R. C. Newman et al. Carbon-related radiation damage centres in Czochralski silicon // *J. Phys. C*, 19(6), pp. 841-857 (1986).

[26]. L. I. Murin. On the electrical activity of the Ci-Oi complex in silicon // *Phys. Stat. Sol. (a)*, 101(2), pp. K107-K110 (1987).

[27] E. N. Vologdin, A. P. Lysenko. Integral'nyye radiatsionnyye izmeneniya parametrov poluprovodnikovyykh materialov.

- M., Moskovskiy gosudarstvennyy institut elektroniki i matematiki (tekhnicheskii universitet), 94 s. (1998).

[28]. A. P. Dolgolenko. Modification of radiation defects in Si and Ge by background impurity // *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 14 (4), pp.377 – 383 (2013).

[29]. E. V. Kuchis. Galvanomagnitnyie efekty i metody ih issledovaniya. – M., Radio i svyaz, 264 s. (1990).

[30]. S. Sysoyeva. Datchiki magnitnogo polya. Spektr vysokoob'yemnoy produktsii ot vedushchikh postavshchikov // *Komponenty I tekhnologii*, 1, s.19-32 (2012).

[31]. V. F. Mitin, N.S. Boltovets, V.V. Kholevchuk et al. Dual function sensors for concurrent measurement of temperature and magnetic field in cryogenic applications // *Cryogenics*, 48(9), pp.68-73. (2008).

[32]. S. Luniov, A. Zimych, M. Khvyshchun ta in. Temperaturna hraduyuvannya mahnitochutlyvoho elementa datchyka Kholla na osnovi germaniyi // *Tekhnichni visti*, 1 (45), 2 (46). - s. 110-113 (2017).

Стаття надійшла до редакції 28.08.2018 р.

УДК 621.315.592; PACS number(s): 61.82. Fk, 72.20.My

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2019.1.159490>

THE IMPACT OF ELECTRONIC IRRADIATION ON THE MAGNETIC SENSITIVITY OF n-Si <P> SINGLE CRYSTALS

¹ S. V. Luniov, ¹ A. I. Zimych, ² V. T. Maslyuk, ² I. G. Megela

¹Lutsk National Technical University,

²Institute of Electron Physics NAS of Ukraine

Summary

The projected impact of radiation on semiconductors allows to create on their basis the various elements of sensor electronics with the necessary characteristics, in particular the semiconductor Hall sensors. Therefore, the studies of irradiation by different flows of fast electrons with the energy of 12 MeV on the magnetic sensitivity of n-Si <P> single crystals have been carried out by us. The measurements of Fourier infrared spectroscopy and Hall effect with the aim of identifying the

nature of created radiation defects have been conducted. On the basis of the research, it has been established that the main radiation defects, formed in silicon at the electron irradiation, are C_iO_i complexes, A-centers (VO_i complexes), and A-centers, which are additionally modified by phosphorus impurity (VO_iP complexes). Taking into account the obtained temperature dependencies of the Hall constant, the values of the coefficients of the magnetic sensitivity for unirradiated and irradiated samples of silicon were calculated. The performed calculations show that the magnetic sensitivity of n-Si single crystals increases and significantly depends on a temperature with the increasing of the flow irradiation. A significant increase of the magnetic sensitivity at the temperatures $T \approx 170$ K for the largest electron flow $2 \cdot 10^{17}$ el./cm² (more than 500 times) in relation to unirradiated n-Si <P> single crystals is obtained. The reason for such an increase in the magnetic sensitivity of n-Si <P> is the formation of C_iO_i , VO_i and VO_iP complexes that create deep energy levels in the band gap of silicon. Such levels act as compensating centres in relation to the main charge carriers. The increase of the degree of compensation of n-Si <P> single crystals with the increasing of the flow of electron irradiation leads to an increase of Hall constant, and hence of the magnetic sensitivity. The obtained results can find a practical application for designing based on of irradiated n-Si <P> single crystals the Hall sensors, which can function in a wide range of temperatures.

Keywords: n-Si <P> single crystals, radiation defects, Hall constant, magnetic sensitivity

УДК 621.315.592; PACS number(s): 61.82. Fk, 72.20. My
DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2019.1.159490>

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА МАГНІТНУ ЧУТЛИВІСТЬ МОНОКРИСТАЛІВ n-Si <P>

¹С. В. Луньов, ¹А. І. Зіміч, ²В. Т. Маслюк, ²І. Г. Мегела

¹Луцький національний технічний університет,
²Інститут електронної фізики НАН України

Реферат

Прогнозований вплив радіації на напівпровідники дозволяє створювати на їх основі різні елементів сенсорної електроніки з необхідними характеристиками, зокрема напівпровідникові датчики Холла. Тому нами проводились дослідження впливу опромінення різними потоками швидких електронів з енергією 12 МеВ на магнітну чутливість монокристалів n-Si <P>. Для ідентифікації природи утворених радіаційних дефектів проводились вимірювання інфрачервоної Фур'є-спектроскопії та ефекту Холла. На основі проведених досліджень було встановлено, що основними радіаційними дефектами, які утворились в кремнії при електронному опроміненні, були комплекси C_iO_i , А-центри (комплекси VO_i) та А-центри, які додатково модифіковані домішкою фосфору (комплекси VO_iP). На підставі одержаних температурних залежностей сталої Холла були обчислені значення коефіцієнтів магнітної чутливості для неопромінених та опромінених зразків кремнію. Проведені розрахунки показали, що зі збільшенням потоку опромінення магнітна чутливість монокристалів n-Si зростає та суттєво залежить від температури. При температурах $T \approx 170$ К для найбільшого потоку опромінення електронами $2 \cdot 10^{17}$ ел./см² було одержано значне (більше як в 500 разів) зростання коефіцієнта магнітної чутливості по відношенню до неопромінених монокристалів n-Si <P>. Причиною такого зростання магнітної чутливості n-Si <P> є утворення комплексів C_iO_i , VO_i та VO_iP , які

створюють в забороненій зоні кремнію глибокі енергетичні рівні, що виконують роль компенсуючих центрів по відношенню до основних носіїв заряду. Зростання ступеня компенсації монокристалів n-Si <P> при збільшенні потоку електронного опромінення призводить до зростання сталої Холла, а отже й магнітної чутливості. Одержані результати можуть знайти своє практичне використання для конструювання на основі опроміненого n-Si <P> датчиків Холла, які зможуть функціонувати в широкому діапазоні температур.

Ключові слова: монокристали n-Si <P>, радіаційні дефекти, стала Холла, магнітна чутливість