

АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 536. 531; 551. 508.5

СЕНСОРИ НА ОСНОВІ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОГО 3С-SiC:
ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ БОРОМ¹⁾Родіонов В. Н., ¹⁾Братусь Т. І., ²⁾Бубулис А.¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна,

²⁾Каунаський технологічний університет, Каунас, ЛитваE-mail: v.rodionov29@gmail.com, tatjana.bratus@gmail.com, algimantas.bubulis@ktu.lt

Як хімічно інертний широкозонний напівпровідниковий матеріал з високими твердістю і теплопровідністю, стабільними електричними характеристиками, карбід кремнію SiC є привабливим для застосування в електроніці та сенсорах, що працюють за складних умов. Останні передбачають екстремальні значення температури, тиску, ударні навантаження, радіаційний та хімічний впливи, що виникають в авіаційних і автомобільних двигунах, промислових газових турбінах, при розвідці нафти і газу тощо. Більш низькі температури вирощування полікристалічного кубічного карбіду кремнію, *pc*-3C-SiC, порівняно з монокристалічним, дозволяють значно знизити його вартість та розширити можливості застосування. З попередніх робіт випливає, що термочутливість *pc*-3C-SiC можна суттєво підвищити за допомогою легування акцепторною домішкою бору в процесі вирощування матеріалу. Метою даної роботи є визначення властивостей легованого бором *pc*-3C-SiC для створення фотосенсорів і термосенсорів, а також термоанемометрів для екстремальних умов експлуатації.

Показано, що легування *pc*-3C-SiC домішкою бору в процесі вирощування сприяє утворенню в забороненій зоні центрів акцепторного типу та появі особливостей у спектрі фоточутливості, що може мати практичний інтерес для фотовольтаїки. Для температур $T > 150$ К провідність легованого зразка практично експоненціально збільшується з енергією активації 0,28 еВ, близькою до енергії активації фотопровідності того ж зразка. Це свідчить про те, що процес іонізації рівноважних та нерівноважних носіїв заряду відбувається з одних і тих самих домішкових центрів. Легування бором викликає появу широкої смуги фотопровідності з максимумом при 1,7 еВ в області домішкового поглинання *pc*-3C-SiC, подібно ситуації в монокристалічному 3C-SiC. Визначено, що температурний коефіцієнт опору для легованого бором *pc*-3C-SiC дорівнює $3,0 \cdot 10^{-2}$ град⁻¹ при $T = 300$ К і $1,1 \cdot 10^{-2}$ град⁻¹ при $T = 700$ К, що майже на порядок більше ніж у термопар, а також металів, з яких виготовляють нитки анемометрів.

Обговорення отриманих результатів дозволяє пов'язати величину енергії активації $E=0,28$ еВ з рівнем мілкового бору в *pc*-3C-SiC та припускати природу цього центру у вигляді точкового дефекту, що містить атом бору, який заміщує в решітці 3C-SiC атом кремнію, тобто B_{Si} .

Запропоновано фотосенсори, які в ближньому ІЧ-діапазоні 0,6 – 1,8 мкм можна використовувати в якості сонячних елементів, а у видимій області 0,4 – 0,6 мкм спектру, – як фотоелементи.

Здатність *pc*-3C-SiC працювати за екстремальних умов експлуатації, а також невисока відносно інших політипів SiC вартість технології виробництва приладів на його основі, дозволяють вважати його придатним матеріалом для створення сенсорів температури, термоанемометрів і фотосенсорів, а також детекторів для моніторингу ядерних об'єктів.

Ключові слова: полікристалічний карбід кремнію; домішка бору; енергія активації; фотосенсор; термоанемометр.

Вступ

Як хімічно інертний широкозонний напівпровідниковий матеріал з високими твердістю та теплопровідністю та стабільними електричними характеристиками, карбід кремнію SiC є привабливим для застосування в електроніці та сенсорах, що працюють за складних умов [1, 2]. Поняття складних умов включає екстремальні значення температури, тиску,

ударні навантаження, радіаційний та хімічний впливи, що виникають в авіаційних і автомобільних двигунах, промислових газових турбінах, при розвідці нафти і газу тощо [3, 4]. Як приклади можна навести високотемпературний терморезистор на основі SiC [5] і високотемпературний термоелектричний датчик газового потоку [6].

На основі SiC відомі різноманітні сенсори, які відрізняються політипом матеріалу, структурою чутливого шару та технологією виготовлення [2-5]. Наприклад, у роботі [6] сенсори виготовлені нанесенням декількох шарів матеріалу при високих температурах і включають досить тривалі операції фотолітографії, хімічного травлення тощо, що суттєво впливає на собівартість приладів і екологічно небезпечно.

Більш низькі температури вирощування полікристалічного SiC , близько 1400°C , що на $(600 - 800)^\circ\text{C}$ нижчі порівняно з монокристалами, дозволяють значно знизити його вартість та розширити можливості застосування. У роботі [7] досліджувалися характеристики термоелементів на основі полікристалічного 3C-SiC ($pc\text{-}3\text{C-SiC}$) n -типу провідності в інтервалі робочих температур до 450°C . Ефективність таких терморезисторів, втім, є невисокою, оскільки енергія активації донорних домішок у SiC n -типу мала, що не дозволяє отримати великі значення температурного коефіцієнта опору (ТКО) матеріалу, який визначає його температурну чутливість.

Постановка задачі

З робіт [8, 9] випливає, що термочутливість $pc\text{-}3\text{C-SiC}$ можна суттєво підвищити за допомогою легування матеріалу в процесі росту акцепторною домішкою бору. Введення домішки бору, в тому числі шляхом імплантації з наступним відпалом [10], веде до підвищення ТКО та появи в спектрі домішкового поглинання матеріалу широкої смуги в інфрачервоній області, що може мати практичний інтерес і для фотovoltaїки.

В цій роботі для визначення ролі акцепторних центрів бору в процесах генерації та рекомбінації носіїв заряду в $pc\text{-}3\text{C-SiC}$ вивчалися температурні залежності провідності, фотопровідності (ФП), характеристики фоточутливості у видимій і ближній інфрачервоній областях спектру та виконана оцінка можливостей створення датчиків температури, фотоелементів і анемометрів на основі цього матеріалу.

Технологія отримання матеріалу та зразків сенсорів

Матеріал $pc\text{-}3\text{C-SiC}$ було отримано методом термічного розкладу метилтрихлорсилана в атмосфері водню та його осадження на нагріту графітову підкладку. Для отримання необхідних значень питомого опору та енергії активації в температурній залежності провідності матеріалу, в процесі росту проводилося його легування акцепторною домішкою бору, яку вводили в реактор у вигляді парів трибромиду бору [11]. Така технологія дозволяє виготовляти однорідні пластинки площею до $10 \times 10 \text{ мм}^2$, що суттєво більше за розміри монокристалів 3C-SiC , які складаються з пірамід росту розміром $3 \div 5 \text{ мм}^2$ з відмінними фізико-технічними властивостями [12].

Зразки фотосенсорів і термосенсорів було виготовлено у вигляді пластинок розміром $1 \times (2 \div 3) \text{ мм}^2$ товщиною $0,2 - 0,3 \text{ мм}$ за допомогою операцій різки, шліфування та полірування. Зразок анемометра являє собою пару термоелементів з близькими з точністю до 1% значеннями опору, виготовлених тим же самим способом у вигляді пластинок розміром $1 \times 1 \text{ мм}^2$ та товщиною $0,2 - 0,3 \text{ мм}$. На пластинки було нанесено контактні площадки зі сплаву Au-Ta , до яких були приварені виводи, що дозволяє сенсорам працювати до температур 1000 K .

Експериментальні результати

Фотосенсори. На рис. 1 показано характеристики температурної залежності провідності (крива 1), фотопровідності (крива 2) зразка $pc\text{-}3\text{C-SiC}$, легованого домішкою бору в процесі росту, а також провідності спеціально нелегованого зразка в діапазоні $125 \text{ K} \div 500 \text{ K}$ (крива 3). Як видно з рис. 1, для температур $T > 150 \text{ K}$ провідність легованого зразка практично експоненціально збільшується з енергією активації $0,28 \text{ eV}$, близькою до енергії активації ФП того ж зразка. Це свідчить про те, що процес іонізації рівноважних та нерівноважних носіїв заряду відбувається з одних і тих самих домішкових центрів. Порівняння з нелегованим зразком (крива 3) показує, що його провідність також зростає в цьому діапазоні температур, але зі значно меншою енергією активації, приблизно $0,1 \text{ eV}$, яка пов'язана з центром донорного типу невідомої природи.

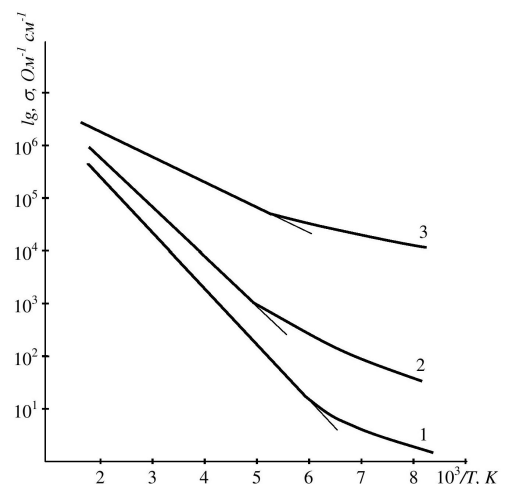


Рис. 1. Температурна залежність провідності (1) та фотопровідності (2) легованого бором зразка полікристалічного 3C-SiC , а також спеціально нелегованого зразка (3)

Варто зауважити, що отримана енергія активації ФП для $pc\text{-}3\text{C-SiC}$ збігається зі значенням, визначеним для монокристалічного $3\text{C-SiC} \langle B \rangle$ [9].

Спектральну залежність ФП в інтервалі $(0,7 \div 2,6) \text{ eV}$ наведено на рис. 2 для двох зразків, один з яких не було легувано домішкою бору (крива 1), а в другий зразок бору вводили в процесі росту

(крива 2). Як видно з рисунка, легування бором викликає появу широкої смуги ФП з максимумом при 1,7 еВ в області домішкового поглинання pc -3C-SiC, подібно ситуації в монокристалічному 3C-SiC [9]. Другий максимум у зразках пов'язаний з поглинанням в основній смугі, спектральне положення його короткохвильового спаду визначається швидкістю поверхневої рекомбінації в зразку. В нелегованому матеріалі він значно перевищує максимум, який пов'язаний із домішкою бору.

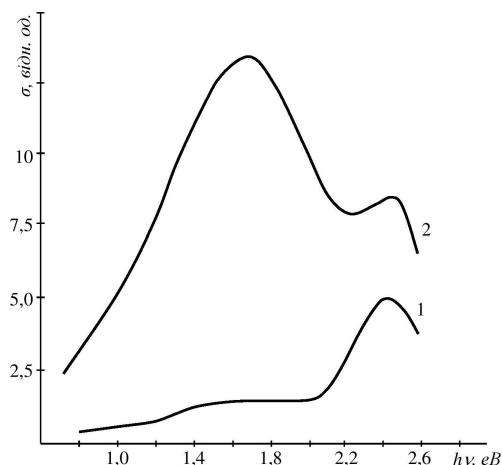


Рис. 2. Спектри фотопровідності нелегованого (1) та легованого бором у процесі вирощування зразка pc -3C-SiC (2)

Термосенсори. Типова температурна залежність опору зразків pc -3C-SiC має від'ємний температурний коефіцієнт і може бути апроксимована експонентою для інтервалу температур (300 ÷ 700) K. Температурний коефіцієнт опору дорівнює $3,0 \cdot 10^{-2}$ град⁻¹ при $T = 300$ K і $1,1 \cdot 10^{-2}$ град⁻¹ при $T = 700$ K, що приблизно на порядок більше ніж у термопар, а також металів, з яких виготовляють нитки анемометрів [13]. Це дозволяє термосенсорам на основі pc -3C-SiC мати на порядок більшу чутливість і зберігати працездатність у складних умовах експлуатації. Точність вимірювання температури складає не менше $0,1$ °C. Стала часу при експоненціальному зростанні та спаді сигналу зразків термоелементів з вказаними розмірами дорівнює залежно від маси $1,0 \div 1,5$ с.

Термоанемометри. За допомогою двох термоелементів на основі легованого бором pc -3C-SiC, у роботі [14] запропоновано термоанемометр, у якому один з датчиків вимірює температуру газу або рідини, а інший – швидкість руху потоку. В цій роботі наведено особливості, а також вказано характеристики градування анемометра в діапазоні температур (25 ÷ 120 °C) з інтервалом 1 °C. Вимірювання поля температур та швидкостей потоків повітря, які створюються нагрітою пластиною, показали, що точність вимірювання швидкості потоку повітря анемометром на основі pc -3C-SiC складає $0,1$ м/с, а температури – $0,1$ °C з просторовою чутливістю 2 мм.

Обговорення результатів

Відомо, що домішка бору створює в SiC мілкі та глибокі енергетичні рівні [15, 16]. Першим у забороненій зоні відповідають акцепторні центри з енергією активації E_a + (0,3 – 0,4) еВ, які спостерігаються у вимірюваннях динамічної спектроскопії глибоких рівнів (DLTS), ефекті Холла [15 – 17] та електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) [18]. Це так званий мілкий бор.

Інші проявляються у фотолюмінесценції (ФЛ) та DLTS [15], поглинанні [16] і ЕПР [18] та пов'язані з глибокими акцепторами іншої природи. Оцінка їхньої енергії іонізації складає (0,73 ÷ 1,0) еВ залежно від концентрації домішки [20]. Співвідношення між концентраціями мілких та глибоких акцепторних центрів визначається особливостями технології вирощування та легування матеріалу. Аналіз результатів вимірювання ЕПР та подвійного електронно-ядерного резонансу (ENDOR) показує, що атоми, які відповідають мілкому бору, замінюють кремній в решітці SiC і створюють дефектні центри виду B_{Si} [19, 21], а рівням глибокого бору, за результатами вимірювання ENDOR, відповідає комплекс ($B_{Si} + V_C$) [22], де V_C – вакансія вуглецю.

У наших вимірюваннях температурної залежності провідності в легованих бором зразках pc -3C-SiC отримано енергію активації $0,28 \pm 0,02$ еВ. Близьке значення (0,27 еВ) було отримане і для монокристалічного 3C-SiC, легованого бором [9]. У більш ранніх роботах по електричних властивостях кубічної та гексагональної модифікацій карбиду кремнію [17] для енергії активації наводяться значення 0,29 та 0,35 еВ. Аналіз спектрів ЕПР наших зразків також вказує на наявність у них мілкого бору, причому немає протиріччя між концентраційною залежністю спектрів і результатами залежності фоточутливості в максимумі від концентрації (рис. 2). Це дозволяє нам пов'язати величину енергії активації $E = 0,28$ еВ з рівнем мілкого бору та припускати природу цього центру у вигляді точкового дефекту, що містить атом бору, який заміщує в решітці 3C-SiC атом кремнію, тобто B_{Si} .

Легування pc -3C-SiC домішкою бору дозволяє зсунути спектр фоточутливості до інфрачервоної області, актуальної при створенні елементів фотовольтаїки. Відомо, що за умови достатньо високої концентрації атомів бору в забороненій зоні матеріалу утворюється проміжна зона енергетичних рівнів [10], що спонукає до зростання інтенсивності електронних переходів у цій області спектру й можливості збільшення ефективності фотоелементів на його основі. Лінійна люкс-амперна характеристика є корисною властивістю фотосенсорів.

Крім того, на базі 3C-SiC можна виготовити стабільні фотосенсори для синьо-зеленої області спектру з максимумом чутливості при (2,8 ÷ 3) еВ для використання в екстремальних умовах, наприклад при вимірюванні потужних світлових потоків, у тому числі лазерних.

Висновки

Аналіз наведених вище даних дозволяє зробити висновок, що рівні з енергією термічної активації 0,28 еВ у *pc-3C-SiC* належать атомам бору, які заміщують атоми кремнію, тобто B_{Si} .

За результатами експериментів впливає, що легування *pc-3C-SiC* домішкою бору дозволяє створювати термосенсиори та фотосенсиори, які здатні працювати за екстремальних умов експлуатації. На основі температурної залежності опору зразків *pc-3C-SiC*, які леговані акцепторною домішкою бору, можна створювати високотемпературні (до 700 K) термосенсиори з температурним коефіцієнтом опору $3,5 \cdot 10^{-2}$ град⁻¹ при $T = 300$ K, а також термоанемометри для вимірювання швидкостей потоку повітря в діапазоні (0,1 – 15) м/с із похибкою 0,1 м/с, для яких визначено їхні градувальні характеристики.

Запропоновано фотосенсиори, які в ближньому інфрачервоному діапазоні 0,6 ÷ 1,8 мкм можна використовувати в якості сонячних елементів, а у видимій області 0,4 – 0,6 мкм, – як фотоелементи.

Здатність *pc-3C-SiC* працювати за екстремальних умов експлуатації, а також невисока відносно інших політипів *SiC* вартість технології виробництва приладів на його основі дозволяють вважати його придатним матеріалом для створення сенсори температури, термоанемометрів і фотосенсорів, а також детекторів для моніторингу ядерних об'єктів.

Література

- [1] W. J. Choyke, H. Matsunami, G. Pensl, (eds), Silicon Carbide – Recent Major Advances, Springer, 2004.
- [2] P. Friedrichs, T. Kimoto, L. Ley, G. Pensl, (eds), Silicon Carbide, Vol. 1: Growth, Defects, and Novel Applications, Vol. 2: Power Devices and Sensors, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2010.
- [3] N. G. Wright, A. B. Horsfall, "SiC sensors: A review", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 40, iss. 20, pp. 6345-6354, Oct 2007. DOI:10.1088/0022-3727/40/20/S17.
- [4] A. A. Lebedev, A. M. Ivanov, N. B. Strokan, "Radiation resistance of SiC and hard radiation detectors based on it", *Semiconductors*, vol. 38, iss. 2, pp. 125-147, Feb 2004.
- [5] R. Campbell, "Silicon Carbide Junction Thermistor" in *Conf. Silicon Carbide –1973*, Ed. Marshall, I. Faust, C. Ryan. Univ. of South Carolina Press, 1973, pp. 611-617.
- [6] Man I Lei, "Silicon carbide high temperature thermoelectric flow sensor", Ph.D. thesis. Dept of mater. sci. and engine., Case Western Reserve Univ., Cleveland, OH, 2011.
- [7] V. S. Ballandovich, S. V. Bogachev, V. A. Il'yn, A. V. Korlyakov, B. S. Kostromin, V. V. Luchinin, A. A. Petrov, "Realization of silicon carbide sensors for measurements on gaseous working fluids", *Materials Science and Engineering*, vol. B46, iss. 1-3, pp. 383-386, Apr 1997.
- [8] В. Н. Родионов, Л. М. Иванова, А. А. Плетюшкин, "Влияние примеси бора на фотоэлектрические свойства поликристаллического карбида кремния кубической модификации", в сб. *Легированные полупроводниковые материалы*, Москва: Изд. АН СССР «Наука», 1985, с. 25 – 27.
- [9] V. Rodionov, V. Bratus', S. Voronov, "Influence of Boron Doping on the Photosensitivity of Cubic Silicon Carbide", *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*, vol. 22, is. 1, pp. 92–97, Jan 2019. DOI:10.15407/spqeo22.01.92.
- [10] M. Syväjärvi, Q. Ma., V. Jokubavicius et al., "Cubic silicon carbide as a potential photovoltaic material", *Solar Energy Material & Solar Cell*, vol.145, iss. 2, pp. 104-108, Feb 2016. DOI: 10.1016/j.solmat.2015.08.029.
- [11] L. Ivanova, P. Aleksandrov and K. Demakov, "Thermoelectrical properties of vapor grown polycrystalline cubic SiC", *Inorg. Mater.*, vol. 42, no. 11, pp. 1205 – 1209, Nov 2006. DOI: 10.1134/S0020168506110069.
- [12] S. N. Gorin and L. M. Ivanova, "Cubic Silicon Carbide (3C-SiC): Structure and Properties of Single Crystals Grown by Thermal Decomposition of Methyl Trichlorosilane in Hydrogen", *Phys. Stat. Sol. (b)*, vol. 202, iss. 1, pp. 221-245, Jul 1997. DOI:10.1002/1521-3951(199707)202:1%3C221::AID-PSSB221%3E3.0.CO;2-L.
- [13] П. И. Савостенко, С. П. Сербина, "Термоанемометрический комплекс для измерения температуры и скорости в турбулентных газовых потоках ТАИК-ЗМ", ПТЭ, №5-6, с. 185-187, 1989.
- [14] A. Bubulis, S. Voronov, O. Genkin, T. Bratus', i V. Rodionov, "Термоанемометрія на основі полікристалічного карбиду кремнію кубічної модифікації", *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, вип. 52(2), с. 42–47, Груд 2016. DOI:10.20535/1970.52(2).2016.92763.
- [15] W. Suttrop, G. Pensl, P. Lanig, "Boron-Related Deep Centers in 6H-SiC", *Appl. Phys.*, vol. A51, pp. 231-237, Sep 1990. DOI:10.1007/BF00324007.
- [16] A. A. Lebedev, "Deep level centers in silicon carbide: A review", *Semiconductors*, vol. 33, pp. 107-130, Feb 1999. DOI: 10.1134/1.1187657.
- [17] Yu. A. Vodakov, N. Zhumaev, B. P. Zverev, G. A. Lomakina, E. N. Mokhov, V. G. Oding, V. V. Semenov, Yu. F. Simakhin, "Silicon carbide doped with boron", *Sov. Phys. Semicond.*, vol. 11, iss. 2, p. 214, Feb 1977.
- [18] P. G. Baranov, E. N. Mokhov, "Electron paramagnetic resonance of deep boron in silicon carbide", *Semicond. Sci. Technol.*, vol. 11, iss. 4, pp. 489-494, May 1996. DOI: 10.1088/0268-1242/11/4/005.
- [19] N. P. Baran, V. Ya. Bratus', A. A. Bugai, V. S. Vikhnin, A. A. Klimov, V. M. Maksimenko, T. L. Petrenko, V. V. Romanenko, "Electron spin resonance of boron in cubic SiC: manifestation of the Jahn-Teller effect", *Phys. Sol. State*, vol. 35, is. 11, pp. 1544-1548, Nov 1993.

- [20] H. Kuwabara, S. Yamada, "Free-to-bound transition in β -SiC doped with boron", *Phys. Stat. Sol. (a)*, vol. 30, iss. pp. 739-746 (1975).
- [21] T. T. Petrenko, T. L. Petrenko, "Density functional theory study of the shallow boron impurity in 3C-SiC and comparison with experimental data", *Phys. Rev. B*, vol. 93, is. 16, p. 165203, Apr 2016. DOI: 10.1103/PhysRevB.93.165203.
- [22] A. van Duijn-Arnold, T. Ikoma, O. G. Poluektov, P. G. Baranov, E. N. Mokhov, J. Schmidt, "Electronic structure of the deep boron acceptor in boron-doped 6H-SiC", *Phys. Rev. B*, vol. 57, is. 3, pp. 1607-1619, Jan 1998. DOI: 10.1103/PhysRevB.57.1607.

UDC 536. 531; 551. 508.5

¹⁾ V. N. Rodionov, ¹⁾ T. I. Bratus', ²⁾ A. Bubulis¹⁾National Technical University of Ukraine "Igor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine²⁾National Technical University, Kaunas, Lithuania

SENSORS BASED ON POLYCRYSTALLINE 3C-SiC: IMPACT OF BORON DOPING

As a chemically inert wide bandgap semiconductor material with high hardness and thermal conductivity, stable electrical characteristics, silicon carbide SiC is attractive for harsh environment electronics and sensors applications. The concept of harsh environment includes extremes of temperature, pressure, shock loads, radiation and chemical attacks those arise in aircraft and automotive engines, industrial gas turbines, during oil and gas exploration, etc.

Lower growing temperatures of polycrystalline cubic silicon carbide, *pc*-3C-SiC, compared to monocrystalline allow to significantly reduce its cost and expand the possibilities of application. It follows from previous works that the thermal sensitivity of *pc*-3C-SiC can be significantly increased by doping with an acceptor impurity of boron during the growth of the material. The purpose of this work is to determine the properties of *pc*-3C-SiC doped with boron for the creation of photosensors and thermosensors, as well as thermal anemometers for extreme operating conditions.

It is shown that *pc*-3C-SiC doping with a boron impurity in the growth process causes the formation of acceptor-type centers in the band gap and the appearance of features in the photosensitivity spectrum, which may be of practical interest for photovoltaics. For temperatures $T > 150\text{K}$, the conductivity of the doped sample increases almost exponentially with an activation energy of 0.28 eV, which is close to the activation energy of the photoconductivity of the same sample. This indicates that the ionization process of equilibrium and non-equilibrium charge carriers occurs from the same impurity centers. Boron doping causes the appearance of a broad photoconductivity band with a maximum at 1.7 eV in the impurity absorption region of *pc*-3C-SiC, similar to the situation in single crystal 3C-SiC.

It was determined that the temperature coefficient of resistance for boron-doped *pc*-3C-SiC is $3.0 \times 10^{-2} \text{K}^{-1}$ at $T=300\text{K}$ and $1.1 \times 10^{-2} \text{K}^{-1}$ at $T=700\text{K}$, which is almost an order of magnitude higher than for thermocouples, as well as for metals from which anemometer threads are made. The discussion of the obtained results allows to associate the value of the activation energy $E=0.28 \text{eV}$ with the level of shallow boron in *pc*-3C-SiC and to assume this center is a point defect containing a boron atom that replaces a silicon atom in the 3C-SiC lattice, i.e. B_{Si} .

Photosensors that can be used as solar cells in the near-IR range of 0.6 – 1.8 μm , and as photocells in the visible range of 0.4 – 0.6 μm are proposed. The ability of *pc*-3C-SiC to work in extreme operating conditions, as well as the low cost of device manufacturing technology based on it, compared to other SiC polytypes, allow it to be considered a suitable material for creating temperature sensors, thermo-anemometers and photosensors, as well as detectors for monitoring nuclear facilities.

Key words: polycrystalline silicon carbide; boron impurity; photoconductivity spectrum; activation energy; photosensors; thermosensors; thermoanemometers.

Надійшла до редакції
20 лютого 2023 року

Рецензовано
25 березня 2023 року



© 2023 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).