

6-10-2019

COORDINATE-SENSITIVE DETECTORS BASED ON THE AL-AGE-PSI-AU HETEROJUNCTION STRUCTURES

Yo K. Toshmurodov

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, authors@ferpi.uz

A K. Saymbetov

Faculty of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University

J H. Ravshanov

Karshi State University of Uzbekistan

Z. F. Beknazarova

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers Tashkent, Uzbekistan

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Toshmurodov, Yo K.; Saymbetov, A K.; Ravshanov, J H.; and Beknazarova, Z. F. (2019) "COORDINATE-SENSITIVE DETECTORS BASED ON THE AL-AGE-PSI-AU HETEROJUNCTION STRUCTURES," *Scientific-technical journal*: Vol. 23 : Iss. 2 , Article 8.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol23/iss2/8>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

FUNDAMENTAL SCIENCES

УДК 621.376.234

COORDINATE-SENSITIVE DETECTORS BASED ON THE AL-AGE-PSI-AU HETEROJUNCTION STRUCTURES¹Yo.K.Toshmurodov,¹ Z.F. Beknazarova, ²A.K.Saymbetov, ³J.H. Ravshanov¹ Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers
Tashkent, Uzbekistan.² Faculty of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University.³Karshi State University of Uzbekistan**КООДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДНЫХ СТРУКТУР Al-aGe-pSi-Au**Ё.К. Тошмуродов¹, З.Ф. Бекназарова¹, А. К. Саймбетов², Ж.Х. Равшанов³¹Ташкентский Институт Ирригации и Инженеров Механизации
Сельского Хозяйства, Ташкент, Узбекистан.²Физико-технический факультет, Казахский Национальный
университет имени аль-Фараби.³Каршинский Государственный Университет, Карши, Узбекистан**AL-AGE-PSI-AU ГЕТЕРОЎТИШЛИ СТРУКТУРА АСОСИДА КООДИНАТ-СЕЗУВЧАН ДЕТЕКТОРЛАР**Ё.К. Тошмуродов¹, З.Ф. Бекназарова¹, А. К. Саймбетов², Ж.Х. Равшанов³¹Тошкент Ирригация ва Қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти,
Тошкент, Узбекистон.² Ал-Фаробий номидаги Қозоғистон миллий университети, физика техника факультети³Қарши давлат университети

Abstract. This paper presents brief information on the ways of upgrading the main silicon and germanium detector materials, the features of the technological stages of manufacturing heterojunction semiconductor coordinate-sensitive detectors based on Al-aGe-pSi-Au structures. Their current and spectrometric characteristics are investigated.

Keywords: semiconductor coordinate-sensitive detector, heterojunction structures, thermo-cooling system, leveling drift.

Аннотация. В этой работе приведены краткие сведения о путях модернизации основных детекторных материалов кремния и германия, особенности технологических этапов изготовления гетеропереходных полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов на основе Al-aGe-pSi-Au-структур. Исследованы их токовые и спектрометрические характеристики.

Ключевые слова: полупроводниковый координатно-чувствительный детектор, гетеропереходная структура, термоохлаждающая система, выравнивающий дрейф.

Аннотация. Ушбу мақолада германий ва кремний материаллари асосидаги асосий детекторларни мукаммалаштириши йўллари тўғрисида қисқа маълумотлар келтирилган, Al-aGe-pSi-Au структура асосида гетероўтишли яримўтказгич координат-сезувчанли детекторларни ишлаб чиқишнинг технологик босқичларнинг ўзига хос тадқиқотларига бағишланган натижалар келтирилган. Уларнинг электрофизик ва радиометрик характеристикалари тадқиқ қилинган.

Таянч сўзлар: яримўтказгичли координат-сезгир детекторлар, гетероўтишли структуралар, термал совутиш тизими, текисловчи дрейфи.

FUNDAMENTAL SCIENCES

Известно, что широкое применение находят в науке, технике и в различных сферах производства полупроводниковые детекторы (ППД) на основе кремния [1-2]. Относительно большая ширина запрещенной зоны в кремнии относительно германия позволяет резко уменьшить при комнатной температуре обратные токи в электронно-дырочных переходах. В настоящее время можно выделить три типа детекторов ядерного излучения [3-6]. Они отличаются как по способу получения p-n перехода, так и по характеристикам, а также по их своему назначению; 1. Поверхностно - барьерные детекторы; 2. Диффузионные детекторы на основе p-n структур; 3. Диффузионно-дрейфовые p-i-n детекторы [7-8]. В последние годы появились детекторы на основе гетероструктур. Во всех типах детекторов их эффективность связана с проявлением эффектов, обусловленных взаимосвязью параметров исходного кристалла с изготовлением на их основе детекторов ядерного излучения.

Одной важной особенностью предлагаемой структуры Al-aGe-pSi-Au, является то что, у германия $Z=32$, а у кремния $Z=14$, то есть число электронов в атомной оболочке у германия в более чем в два раза больше, чем у кремния. Поэтому такая структура более чувствительна альфа-, бета-излучениям, относительно кремниевых структур. Сочленение термоохлаждающей системы таких гетеропереходных структур позволяет существенно повысить эффективность предлагаемых полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов (ППКЧД).

Создание таких детекторных структур связано с более подробным и глубоким пониманием электрофизических свойств исходного кремния и установлением их взаимосвязи с требованиями к формированию на их основе высокоэффективных типов детекторов ядерного излучения.

Решение многих научно-технических задач, связано измерением слабоинтенсивных, высокоэнергичных заряженных частиц. Для измерения таких заряженных частиц требуется детектор значительной толщиной чувствительной области и тонким «мертвым» слоем входного окна, а также с высокими электрофизическими, спектрометрическими характеристиками в широком диапазоне напряжений внешнего обратного смещения электрического поля на структуре.

В гетероструктуре в качестве базового материала использован промышленный кремний p-типа (удельное сопротивление $\rho=3-8$ кОм, время жизни носителей заряда $\tau \geq 300$ мкс, концентрация кислорода $N_{O_2} \sim 10^{16}$ см³) в виде пластины диаметром ~ 110 мм и толщиной 2–2,5 мм. [9].

ППД на основе p-i-n-структур в настоящее время являются одним из основных инструментов исследования различных частиц и излучений. Однако при разработке и изготовлении детекторов ядерного излучения необходимо решить ряд технологических проблем, особенно для детектора больших размеров.

Одним из путей подавления структурных дефектов является воздействие ультразвуком. Именно ультразвуковое воздействие впервые было применено для улучшения параметров полупроводниковых детекторов ядерного излучения на пластинах кремния небольших размеров [10-11].

Специфические особенности ультразвуковой волны, как носителя энергии в данном случае является эффективным способом изменять термодинамическое состояние полупроводникового кристалла. Кроме того, спектральный состав ультразвуковой волны (частота и гармоника) селективно определяют эффективность их взаимодействия с одиночными примесными атомами и их скоплениями, дислокациями. Эти качества ультразвукового воздействия, позволяющие изменить объемные, поверхностные свойства кристалла и наблюдать процессы диффузии и дрейфа атомов примеси, распада примесных скоплений и комплексов при низких (комнатных) температурах, способствуют привлечению его для решения научно-технических и технологических задач по разработке ППД [12-13].

FUNDAMENTAL SCIENCES

Для механической и химической обработки требуется усовершенствовать некоторые процессы применительно к детекторам большой площади, в частности: резка пластин кремния; шлифовка слитка до нужных размеров; промывка пластин и шлифовка; химическое травление пластин кремния.

По технологическим признакам шлифовку подразделяют на предварительную (с более крупным порошком М-14) и окончательную (с более мелким порошком М-5). В качестве абразива используют микропорошки карбида бора В₄С и карбида кремния SiC, при этом, с каждой стороны удаляются слои толщиной не менее 50 мкм.

Полировка кремниевых пластин осуществлялась путем травления в ваннах, изготовленных из материала фторопласта с использованием следующих кислот: плавиковая (HF), азотная (HNO₃) и уксусная (CH₃COOH). Термическое травление проводилось в течение 15÷20 минут с использованием электронагревательного прибора. Регулирование режима травления осуществлялось по специально разработанным технологическим регламентам. После проведения химико-технологических работ, процесс диффузии проводили в вакуумной камере, при давлении 10⁻⁵ тор в течение t = 60 сек при температуре 300÷500 °С, что выше, чем для обычных детекторов.

Температура диффузии выбиралась в зависимости от сопротивления исходного материала при условии, что концентрация лития на поверхностной части кристалла должна быть намного больше концентрации исходных акцепторов в кремнии N_A, т.е. N_{Li} >> N_A (не менее двух порядков).

Дрейф лития проводился при относительно повышенных температурах, обратный ток детектора достаточно высокий и генерационный ток выше, чем диффузионный. Нами предложены режимы и проведены исследования влияния импульсного электрического поля на выравнивающий дрейф (ВД) ионов лития. Эффективность выравнивающего дрейфа относительно высока в низкоомном кремнии. В частности, для Si(Li) детекторов, изготовленных из материала с ρ~10 Ом·см, τ~50 мкс после проведения выравнивающего дрейфа (при T = 60 °С, U = 100 В, τ = 24 час) рабочее напряжение смещения (V_{раб}) уменьшается с 100 В до 15 В, в то время как для других детекторов (с такими же геометрическими размерами) из кремния с ρ= 4 кОм·см, τ = 500 мкс уменьшение V_{раб} происходит с 100 В лишь до 60 В.

В процессе дрейфа на имеющуюся структуру подавалось смещение в обратном направлении при температуре 100÷200 °С. Ионы лития, перемещаясь в р-область, компенсирует объемный заряд акцепторов, что приводит к перераспределению электрического поля. Возникающее равенство концентрации ионов лития и акцепторов приводит к уменьшению величины электрического поля в этой области, но поскольку приложенное внешнее напряжение остается постоянным, ионы лития продолжают проникать вглубь р-области – это должно привести к полной компенсации чувствительной области ППД. Следует отметить, что в процессе дрейфа большой вклад в обратные токи р-n-перехода вносят токи утечки и инжекции с тылового контакта. При этом токи утечки могут быть сведены к минимуму дополнительным травлением, временно прекращая при этом процесс дрейфа.

Для напыления контактов был выбран метод вакуумного термического испарения, как наиболее простой и наиболее освоенный. Процесс напыления контактов на готовые Si(Li) пластины проводился на вакуумной установке термического испарения УВН-71П-3. Из

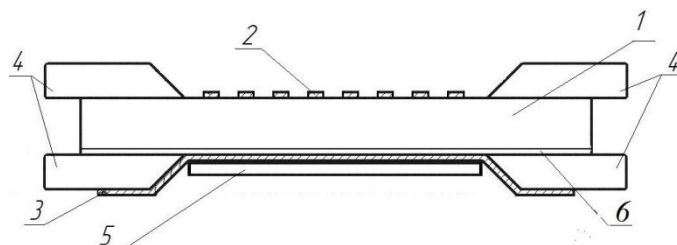


Рис. 1. Поперечный разрез детекторной структуры с гетеропереходом.

FUNDAMENTAL SCIENCES

молибдена и вольфрама были изготовлены испарители специальной конструкции, которые промывались в спирте и затем отжигались в вакууме в течение 10-15 мин. Длина молибдена составляет 40 мм, расстояние между испарителем и кремниевыми пластинами составляет 80 мм.

Исходные гетероструктуры аморфный германий-кремний получены напылением в вакууме германия на подложку из кремния р-типа проводимости толщиной 400 мкм. Готовые кремниевые изделия помещали в корпус. Затем методом вакуумного напыления при давлении 5×10^{-5} мм.рт.ст. на пластину наносили контакты из Al (0,1 мкм). С фронтальной стороны использована специальная маска с полосами Au (~0,02 мкм) – контакты (геометрические размеры активной полосы составляли $0,5 \times 50$ мм, неактивные полосы, т.е. зазоры между полосами составляли 1% от общей площади).

С учетом этих обстоятельств в качестве детекторной структуры выбрана гетероструктура Al-aGe-pSi-Au, геометрическая конструкция которого приведена на рис. 1.

Как видно из рисунка детекторная структура содержит монокристаллический кремний -1 с фронтальными слоями в виде полос из золота-2, аморфным слоем германия -6 и металлического слоя из алюминия-3, изолятора из гетинакса -4, к тыльной поверхности структуры прикреплено термоохлаждающее устройство в виде элемента Пельтье- 5.

Таким образом, изготовлен лабораторный образец 8-полосного ППКЧД детектора с гетеропереходом в системе кремний-германий, вид с поверхности которого приведен на рис. 2а.

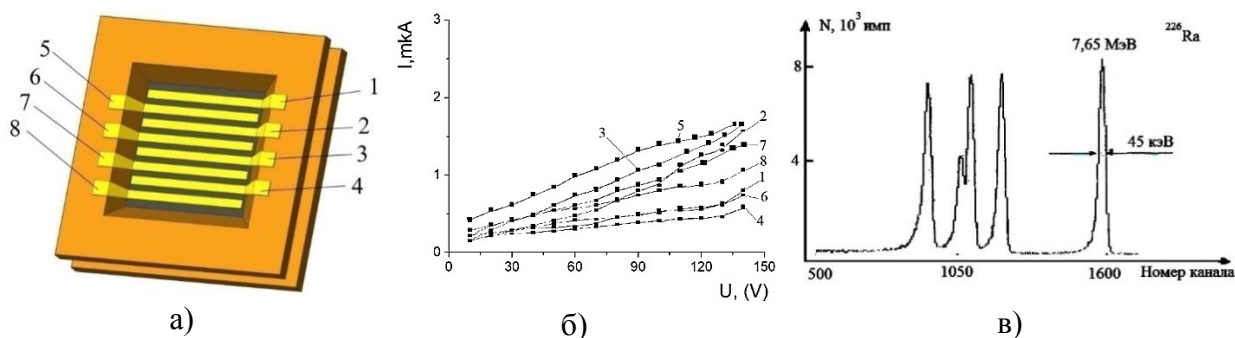


Рис. 2. Общий вид координатно-чувствительного детектора (а); зависимость тока утечки восьми полосного дискретного ППКЧД от напряжения (б); энергетические спектры детектора на основе Al-aGe-pSi-Au-структур для α -частиц ^{226}Ra ($E_\alpha=7.65$ МэВ) (в).

Обратные токи в интервале напряжений от нуля до 140 В увеличиваются близко к линейному с максимальным значением тока 2 мкА (рис. 2б). Эти значения в три раза меньше по сравнению, чем в кремний-литиевых Si(Li) - p-i-n-структурах. Энергетические спектры Al-aGe-pSi-Au-гетероструктурных детекторов с разрешением 45 кэВ (рис. 2в), то есть в два раза лучше, чем в кремний-литиевых детекторах (65 кэВ) [14].

Таким образом, изготовлен лабораторный образец 8-полосного ППКЧД детектора с гетеропереходом в системе кремний-германий и показаны преимущества гидрогенизированного германия в отдельности по сравнению с монокристаллическим кремнием по стабильности параметров и электрофизическим свойствам, что указывает на возможность получения высоких параметров детекторов в паре с кремнием, то есть с гетеропереходом.

Выявлены технологические аспекты получения Al-aGe-pSi-Au гетероструктур и на их основе изготовлены 8-полосные ППКЧД больших размеров ($50 \times 50 \times 1,5$ мм) при комнатной температуре. Экспериментально показано, что полученные Al-aGe-pSi-Au - детекторы обладают требуемым спектрометрическим разрешением.

FUNDAMENTAL SCIENCES

References:

- [1]. Azimov S.A., Muminov R.A., SHamirzaev S.X., Yafasov A.Ya. Kremniy litievie detektory yadernogo izlucheniya. Tashkent: Fan, 1981. S.3-87.
- [2]. Akimov Yu.K., Irnatg'ev O.B, Kalinin A.I, Kishnirik B.F. Poluprovodnikovie detektory v eksperimental'noy fizike. - M.: Energoatomizdat, 1989. S. 271-273.
- [3]. Afanasg'eva N.P., Afanasg'ev V.D., Lyubchik B.G. Vliyaniye neodnorodnosti raspredeleniya akseptorov na kompensatsiyu v litiy-dreyfovix p-i-n perehodaх // FTP. – 1974. - t.8. vir.6. - S.1090-1095.
- [4]. Lechner P., Fiorini C., Hartmann R., et al. Silicon drift detectors for high count rate X-ray spectroscopy at room temperature // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2001. – vol.458. – r. 281-287.
- [5]. Apollinari G., Belforte S., Bosi F., Focardi E., Paoletti R., Tonelli G., Zetti F. Performance of surface barrier silicon detectors with x, y readout // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. – 1989. – vol.279. No.1-2. – PP. 396-401.
- [6]. Bogdanov G.F., Maksimenko B.P. Spectrometry of low-energy ions by surface-barrier silicon detectors // Atomic Energy. – 1972. vol.32. N.1. – r.68-69.
- [7]. K. Shimamura and E.G. Villora // Czochralski-Based growth and characteristics of selected novel single crystals for optical applications // Acta Physica Polonica A -2013. № 2. V. 124.pp. 265-273.
- [8]. Yu.B. Gurov, S.L. Katulina, S.V. Rozov, V.G. Sandukovsky and J. Yurkowski // Planer Si(Li) detectors with a large active volume // Instruments And Experimental Techniques - 2010 Vol. 53, No. 1, pp. 36–38.
- [9]. R. A. Muminov, S. A. Radzhapov, Yo. K. Toshmuradov Sh. Risaliev, S. Bekbaev, A. Kurmantaev Development and Optimization of the Production Technology of Large Size Position Sensitive Detectors // Instruments and Experimental Techniques - New York 2014 Vol. 57, No. 5, R. 564–565.
- [10]. Yu.K. Akimov, Instruments and Experimental Techniques 1, 5 (2007). Str.5-34
- [11]. L.N. Davidov, A.A. zaxarchenko, D.V. Kutniy, B.E. Kutniy i dr. // Radiatsionnaya stoykostg' poluprovodnikovix detektorov korpuskulyarnoro i gamma-izlucheniya // Bestnik Xarg'kovskogo universiteta № 657, 2005, vir. 1/26/ s. 3-22.
- [12]. C.S. Rossington, J.T. Walton and J.M. Jaklevic // Si(Li) detectors with dead layers for low energy X-ray detection // Presented at the 1990 IEEE Nuclear Science Symposium, Arlington, VA, October 23-26, 1990, and to be published in the Proceedings pp. 1-5.
- [13]. G. Weber, H. Brauning, S. Hess et al. // Performance of a position sensitive Si(Li) x-ray detector dedicated to Compton polarimetry of stored and trapped highly-charged ions // International symposium on electron beam i on sources and traps, APRIL 7th–10th 2010, Stockholm, Sweden pp. 1-6.
- [14]. Yo.K. Toshmurodov // Position-sensitive detectors of nuclear radiation and a study of their current–voltage characteristic// Instruments and Experimental Techniques - New York 2017 Vol. 60, No. 4, P. 605–607.

Литература

- [1]. Азимов С.А., Муминов Р.А., Шамирзаев С.Х., Яфасов А.Я. Кремний литиевые детекторы ядерного излучения. Ташкент: Фан, 1981. С.3-87.
- [2]. Акимов Ю.К., Игнатъев О.В, Калинин А.И, Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. - М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 271-273.
- [3]. Афанасьева Н.П., Афанасьев В.Д., Любчик Б.Г. Влияние неоднородности распределения акцепторов на компенсацию в литий-дрейфовых р-і-n переходах // ФТП. – 1974. - т.8. вып.6. - С.1090-1095.
- [4]. Lechner P., Fiorini C., Hartmann R., et al. Silicon drift detectors for high count rate X-ray spectroscopy at room temperature // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2001. – vol.458. – p. 281-287.
- [5]. Apollinari G., Belforte S., Bosi F., Focardi E., Paoletti R., Tonelli G., Zetti F. Performance of surface barrier silicon detectors with x, y readout // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. – 1989. – vol.279. No.1-2. – PP. 396-401.
- [6]. Bogdanov G.F., Maksimenko B.P. Spectrometry of low-energy ions by surface-barrier silicon detectors // Atomic Energy. – 1972. vol.32. N.1. – p.68-69.
- [7]. K. Shimamura and E.G. Villora // Czochralski-Based growth and characteristics of selected novel single crystals for

FUNDAMENTAL SCIENCES

- optical applications // Acta Physica Polonica A -2013. № 2. V. 124.pp. 265-273.
- [8]. Yu.B. Gurov, S.L. Katulina, S.V. Rozov, V.G. Sandukovsky and J. Yurkowski // Planer Si(Li) detectors with a large active volume // Instruments And Experimental Techniques - 2010 Vol. 53, No. 1, pp. 36–38.
- [9]. R. A. Muminov, S. A. Radzhapov, Yo. K. Toshmuradov Sh. Risaliev, S. Bekbaev, A. Kurmantaev Development and Optimization of the Production Technology of Large Size Position Sensitive Detectors // Instruments and Experimental Techniques - New York 2014 Vol. 57, No. 5, P. 564–565.
- [10]. Yu.K. Akimov, Instruments and Experimental Techniques 1, 5 (2007). Стр.5-34
- [11]. Л.Н. Давыдов, А.А. Захарченко, Д.В. Кутний, В.Е. Кутний и др. // Радиационная стойкость полупроводниковых детекторов корпускулярного и гамма-излучения // Вестник Харьковского университета № 657, 2005, вып. 1/26/ с. 3-22.
- [12]. C.S. Rossington, J.T. Walton and J.M. Jaklevic // Si(Li) detectors with dead layers for low energy X-ray detection // Presented at the 1990 IEEE Nuclear Science Symposium, Arlington, VA, October 23-26, 1990, and to be published in the Proceedings pp. 1-5.
- [13]. G. Weber, H. Brauning, S. Hess et al. // Performance of a position sensitive Si(Li) x-ray detector dedicated to Compton polarimetry of stored and trapped highly-charged ions // International symposium on electron beam i on sources and traps, APRIL 7th–10th 2010, Stockholm, Sweden pp. 1-6.
- [14]. Yo.K. Toshmurodov // Position-sensitive detectors of nuclear radiation and a study of their current–voltage characteristic// Instruments and Experimental Techniques - New York 2017 Vol. 60, No. 4, P. 605–607.