

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРТАТИВНОГО ДОЗИМЕТРА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17164434>

¹Р.А.Муминов, ²Б.Э.Эгамбердиев, ³А.К.Саймбетов, ⁴Ё.К. Тошмуродов,
⁵М.О. Явкочдиев, ⁴Ж.Р. Тошев

¹Физико-технический институт АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан.

²Институт военной авиации Республики Узбекистан, г. Карши, Узбекистан.

³Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан.

⁴Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан.

⁵Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан.

e-mail: bahrom_prof@mail.ru

В настоящее время в мировой практике торговля радиоактивными элементами, то есть элементами ядерного излучения развивается, в Узбекистане чтобы не допустить не законным путем перевоза и продажу, с этой целью необходимо изготовить и использовать установку дозиметра на основе монокристаллического кремния. Новая научно-практическая дисциплина – радиационная безопасность начала формироваться с момента создания атомной промышленности, хотя отдельные ее аспекты разрабатывались уже вскоре после открытия рентгеновских лучей. Дозиметр предназначен для определения уровня ионизирующей радиации. Реагирует на бета, альфа, а также рентгеновские лучи. Детекторами ионизирующих излучений могут являться различные по устройству и принципам работы датчики: газоразрядные детекторы ионизирующих излучений; датчики Гейгера – Мюллера (например, «бета-1» для α , β , γ -излучения или «СБМ-20» для β , γ -излучения или СНМ-50 для нейтронного излучения); сцинтилляционные детекторы и счетчики; полупроводниковые детекторы ядерного излучения и т.д.

Изготовление портативного дозиметра на основе кремниевых детекторов ядерного излучения для таможенного назначения требует прецизионных физических процессов и условий. Они обусловлены тем, что для таких систем применяются низкоэнергетические рентгеновские лучи для генерации электронно-дырочных пар в чувствительной области полупроводникового детектора. Энергетические разрешения в них должны составлять $E_g < 200-300$

эВ. Эти значения являются почти предельными величинами возможности многих детекторов на основе полупроводниковых кристаллов. Для удовлетворения указанных условий по энергетическому разрешению необходимо, создать физические условия по обеспечению максимальной степени собирания носителей заряда, генерированных за счет потери энергии квантов рентгеновский лучей. При этом такие условия должны обеспечивать одинаковую результативность в любой точке чувствительной области детектора и сам детектор должен быть чувствительным.

В настоящей работе рассматриваются физико-технологические особенности изготовления портативного дозиметра на основе кремниевых детекторов ядерного излучения ($\varnothing \geq 60$ мм, $W=2$ мм), когда для формирования необходимой Si(Li) структуры используется новый метод проведения процесса дрейфа ионов лития при помощи воздействия импульсного электрического поля [4-7].

В изготовленных портативного дозиметра на основе кремниевых детекторов ядерного излучения при температуре и $T = 240$ К рабочем напряжении $U_{обр}=(100-800)$ В имеют темновой ток $I=50-80$ нА, емкость $C=220$ пФ, шумы $E_{ш}=0,8-1$ кэВ. энергетические разрешения по ^{241}Am $R= 2,3-2,6$ кэВ (1 элемент); при рабочем напряжении $U_{обр}=200$ В имеет темновой ток $I=2-4$ нА, емкость $C=50$ пФ, шумы $E_{ш}=0,3-0,5$ кэВ. энергетические разрешения по ^{241}Am $R= 1,1-1,3$. [7].

Прибор может найти применяя в геофизических исследованиях. Дополнительно радиометр может контролировать температуру окружающей среды. В качестве детектора в радиометре используется полупроводниковый детектор. На рисунке 1 изображена электронная схема дозиметрического прибора изготовленного на основе полупроводниковых детекторов.



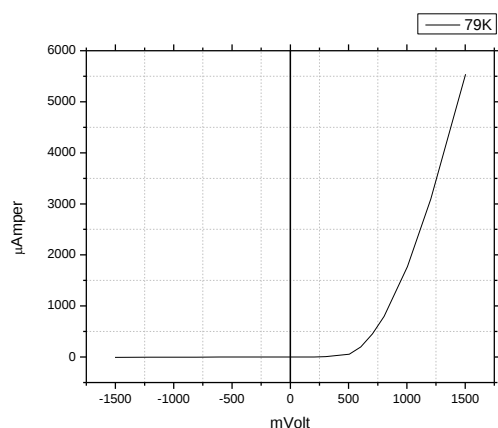
Рис. 1. Электрическая схема портативного дозиметра на основе кремниевых детекторов ядерного излучения

Питание дозиметра осуществляется от автономного источника постоянного тока, в качестве которого используются аккумулятор.

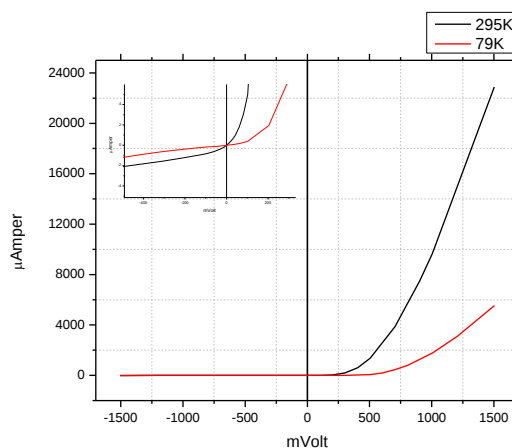
Дозиметра выполнен в виде носимого прибора с автономным питанием. Основными его узлами являются:

- измерительная камера с фильтром и Si(Li) ППД;
- зарядочувствительный предусилитель;
- спектрометрический усилитель и схема выделения полезной информации;
- высоковольтный блок питания;
- автономный источник питания;
- блок управления, индикации и сопряжения с персональным компьютером;
- сетевой блок зарядного устройства для аккумулятора (прилагается отдельно).

Вольтамперная характеристика. На рис.2 а. представлены зависимости тока утечки от напряжения для полос с минимальным и максимальным значением детектора с Т-образным сечением. Площадь одной полосы $40 \times 1,5$ мм². Разброс значений $I_{об}$ по полосам незначителен, что свидетельствует об одинаковой химической обработке. Однако, абсолютные значения $I_{ут}$ велики. Эти типы детекторов имели ширину разделительных участков ~ 550 мкм и последующее травление при такой ширине канавки позволило полностью удалить внесенные при травлении резкие нарушения. Поэтому ВАХ детекторов обнаруживают генерационную составляющую тока утечки (рис.2 б).



а)



б)

Рис.2. Вольтамперные характеристики кремниевого детектора ядерного излучения.

Для отжига радиационных дефектов, облученные пластины помещаются в кварцевую ампулу и загружают в рабочую зону печи при температуре 800-900°C в течение 3 ч, затем печь выключают, и пластины остывают вместе с печью. После проведения нейтронной компенсации кремния, весь кристалл подвергался по специальной методике химико-технологической обработке в целях обеспечения минимальных толщин «мертвых» слоев входного окон и обратного тока утечки для минимизации шумовых характеристик детектора. Затем на нейтронно-легированный кристалл кремния, методом вакуумного напыления наносились контакты Al (1000Å) и Au (~200Å) и последующим проводили низко температурный отжиг при температуре $T = 140-160$ °C в течение $t = 25-60$ часов. Таким образом была сформирована детекторная структуры, которая помещалась в корпус и проводили контрольные измерения электрофизических характеристик.

На рис.2, 3. приведены электрофизические характеристики всех типов детекторов ядерного излучения больших площадей чувствительной области. Исследования были проведены при комнатной температуре.

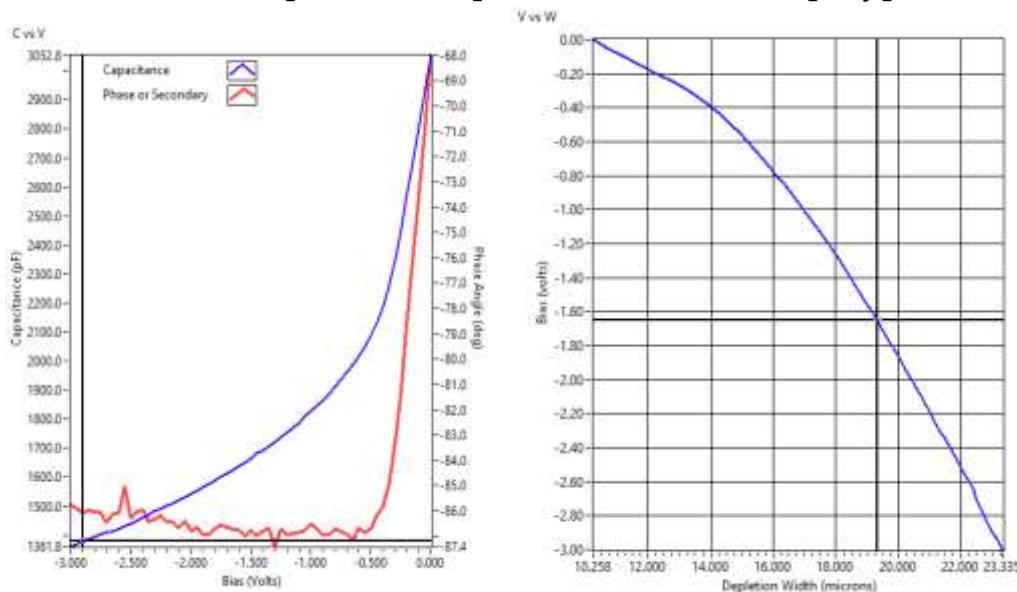


Рис.3. Вольтфарадные характеристика кремниевого детектора ядерного излучения.

С целью улучшения распределения электрически активного лития в диффузионной области Si(Li) p-i-n – структур исследовано влияние преддиффузионного отжига структурных дефектов, образующихся при

шлифовке пластин, на характер распределения электрически активного лития. Преддифузионный отжиг пластин проводили в вакууме 10^{-5} тор (исключая тем самым окисление поверхности, приводящее к дополнительным напряжениям) при температуре 600 °С в течение 1 ч. Скорость охлаждения образцов после отжига была 5 град/мин, так как быстрое снижение температуры кристалла резко снижает время жизни носителей заряда. Режим температурного отжига выбирали так. Чтобы оставить без существенного изменения важнейшие исходные параметры базы полупроводникового кристалла (рис.4).

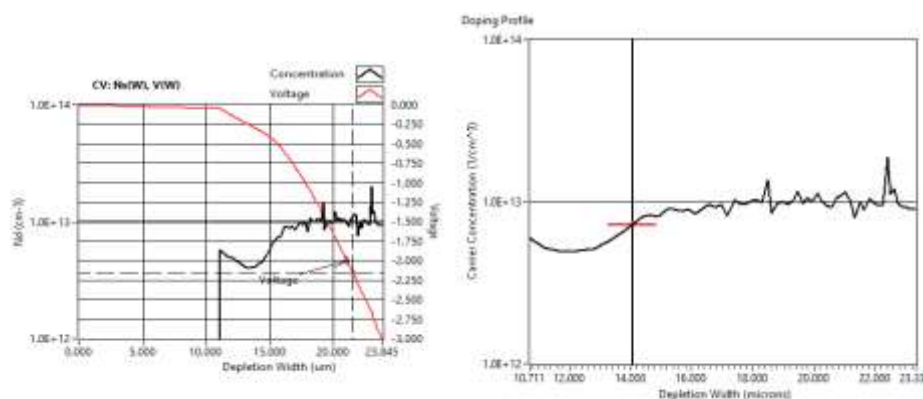


Рис.4. Концентрация распределения ионов лития кремниевого детектора ядерного излучения.

Таким образом, в результате исследования и проведения технологических работ нами разработан способ изготовления портативного дозиметра на основе кремниевых детекторов ядерного излучения

ЛИТЕРАТУРА:

1. Азимов С.А., Муминов Р.А., Байзаков Б.Б., Карпов В.Д., Раджапов С.А., Хасанов Д.К., Яфасов А.Я. Полупроводниковые детекторы бета-излучения большой площади. // Атомная энергия. 1986.-т.60.-вып.2.-с.144-146.
2. Yu.K. Akimov. Instruments and Experimental Techniques 1, 5 (2007). Стр. 5-34.
3. A.K. Saymbetov, R.A. Muminov, N.M. Japashov, Yo.K. Toshmurodov, M. Nurgaliyeva, N. Koshkarbay, N. Kuttybay, B. Zholamanov, Z. Jing // Physical processes during the formation of silicon-lithium p-i-n structures using double-sided diffusion and drift methods // Journal materials 2021. Vol. 14. Iss. 18. PP. 5174 (15).

4. R.A. Muminov, A.K. Saymbetov, Yo.K. Toshmurodov, S.A. Radzhapov, N.B. Kuttybay, M.K. Nurgaliyev Physical features of double sided diffusion of lithium into silicon for large size detectors Journal of nano- and electronic physics-2019, Vol. 11 No 2, pp. 02031(4) (№ 19. IF: 0,425).

5. Р.А.Муминов, А.К.Саймбетов, Ё.К. Тошмуродов, М.О.Явкочлиев Процесс выравнивающий дрейф для разработки полупроводникового координатно-чувствительного детектора. Журнал Физика полупроводников и микроэлектроника-2020, том 2, выпуск 2, Стр. 31-37 (01.00.00, №16).

6. Р.А.Муминов, А.К. Саймбетов, Ё.К. Тошмуродов, М.О.Явкочлиев Технология изготовления полупроводниковых двухкоординатно-чувствительных детекторов на основе монокристаллического кремния большого диаметра // Журнал Физика полупроводников и микроэлектроника 2020, том 3, выпуск 1, Стр. 27-30 (01.00.00, №16).

7. A. Castoldi, E. Gatti, C. Guazzoni, A. Longoni, P. Rehak, L. Struder // The Controlled-Drift Detector: a new detector for fast frame readout X-ray imaging // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A 461 (2001), 405–409.

8. M. Kozai, H. Fuke, M. Yamada, K. Perez // Developing a mass-production model of large-area Si(Li) detectors with high operating temperatures // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 947 (2019), 162695.

9. A. E. Galashev, Yu. P. Zaikov, and R. G. Vladykin // Effect of Electric Field on Lithium Ion in Silicene Channel. Computer Experiment // Russian Journal of Electrochemistry, 2016, Vol. 52, No. 10, pp. 966–974.

10. J. Grant, C. Buttar, M. Brozel, A. Keffous // Lithium-drifted, silicon radiation detectors for harsh radiation environments // J Mater Sci: Mater Electron (2008) 19: PP. pp. 14–18.

11. A.P.L. Bertol, P.C. Chaves, R. Hinrichs, M.A.Z. Vasconcellos, M.A. Reis // Methodology for a fast determination of EDX Si(Li) detector response function in the 5 keV to 15 keV range // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 908 (2018), pp. 394–400.

12. Z. An, M.T. Liu // On the efficiency calibration of Si(Li) detector in the low-energy region using thick-target bremsstrahlung // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 194 (2002), pp. 513–518.

13. Muminov R.A., Radzhapov S.A., Toshmuradov Yo.K., Risaliev Sh., Bekbaev S., Kurmantaev A. Development and Optimization of the Production Technology of Large Size Position Sensitive Detectors // Instruments and Experimental Techniques - New York, 2014, Vol. 57, No. 5, PP. 564–565.

14. Toshmurodov Yo.K. 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, PP. 605–607.
15. R.A. Muminov, S.A. Radzhapov, A.K. Saimbetov, Atomic Energy 106, 2 (2009). 113-114.