

06.2; 12

© 1993

ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ
ВЫСОКООМНОГО КРЕМНИЯ n -ТИПА, ПОЛУЧЕННОГО
МЕТОДОМ ФОТОЯДЕРНОГО ТРАНСМУТАЦИОННОГО
ЛЕГИРОВАНИЯВ.В. Заблочкий, Н.А. Иванов,
Н.Н. Леонов, В.Ф. Морозов,
В.В. Петренко

Для изготовления некоторых типов полупроводниковых детекторов ядерных излучений требуется высокоомный кремний n -типа проводимости с удельным сопротивлением до 20 кОм·см и более [1]. В частности, такой материал необходим для детекторов с большой толщиной обедненной зоны, предназначенных для регистрации длиннопробежных заряженных частиц, а также для детекторов с большой площадью рабочей поверхности, которые широко применяются в радиационном мониторинге окружающей среды и в экспериментах по физике высоких энергий [2].

Производство высокоомного кремния n -типа с удельным сопротивлением свыше 5 кОм·см методом бестигельной зонной плавки, несмотря на значительный прогресс в этой технологии, остается сложным и дорогостоящим [3]. В качестве одного из возможных способов получения детекторного кремния рассматривается метод трансмутационного легирования с помощью ядерных реакций под действием нейтронов или гамма-квантов высоких энергий [4]. Ранее нами была продемонстрирована перспективность применения в детекторах кремния p -типа проводимости, полученного методом фотоядерного трансмутационного легирования (ФТЛ) [5]. Целью настоящей работы было исследование пригодности высокоомного ФТЛ кремния n -типа для изготовления поверхностно-барьерных детекторов. Интерес к ФТЛ способу получения высокоомного n -кремния дополнительно стимулируется тем, что он позволяет в качестве исходного материала использовать относительно дешевый кремний с удельным сопротивлением ~ 1 кОм·см, выращиваемый методом бестигельной зонной плавки [3].

В эксперименте в качестве исходного был взят слиток зонного кремния n -типа проводимости диаметром 26 мм с удельным сопротивлением 1.5 кОм·см. Этот слиток был облучен однородным по сечению потоком гамма-квантов тормозного излучения на линейном ускорителе электронов «Факел» Российского научного центра «Курчатовский институт» при энергии и токе пучка ускоренных электронов 31 МэВ и 50 мкА соответственно. Для генерации тормозных квантов использовался вольфрамовый конвертор. После облучения слиток был подвергнут высокотемпературной обработке, необходимой для отжига радиационных дефектов [4].

С помощью 4-х зондового метода были измерены радиальные распределения удельного сопротивления на торцах облученного слитка. Было установлено, что, благодаря частичной компенсации исходной донорной присеми фосфора трансмутационной акцепторной примесью алюминия, удельное сопротивление кремния возросло до $6 \text{ кОм} \cdot \text{см}$, а концентрация основных носителей заряда уменьшилась соответственно с $2.8 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ в исходном кремнии до $7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ в ФТЛ кремнии. При этом неоднородность распределения удельного сопротивления по сечению слитка ФТЛ кремния возросла по сравнению с исходной неоднородностью, что является типичным результатом компенсации носителей заряда в полупроводниках.

Из пластин исходного и ФТЛ кремния толщиной 1.2 мм и диаметром 16 мм по стандартной технологии [6] было изготовлено 20 детекторов, представляющих собой поверхностно-барьерные структуры $Au-n-Si-Al$ с площадью рабочей поверхности 2 см^2 . На этих детекторах измерялись вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики при напряжениях смещения до 100 В и энергетическое разрешение для α -частиц от источника ^{238}Pu . На рис. 1 приведены типичные зависимости тока утечки и энергетического разрешения от напряжения смещения для детектора из ФТЛ и исходного кремния. Из этого рисунка видно, что детекторы, изготовленные из ФТЛ кремния, имеют меньшие значения обратных токов и лучшее энергетическое разрешение. Оптимальная величина напряжения смещения составила 60 В , при котором наилучшее достигнутое энергетическое разрешение равнялось 19.5 кэВ . Отметим, что поскольку удельное сопротивление ФТЛ кремния в 4 раза больше, чем ρ исходного материала, то величина емкости в детекторах из ФТЛ кремния оказалась примерно вдвое меньше, чем в детекторах из исходного материала, и при напряжении смещения 60 В равнялась 80 пФ .

Важным параметром детекторов ядерных излучений является их радиационный ресурс, который характеризует способность детекторов работать в условиях интенсивных радиационных полей, и поэтому нами было проведено исследование деградации характеристик изготовленных детекторов под действием α -частиц с энергией $\sim 5 \text{ МэВ}$. Для облучения рабочей поверхности детекторов использовался радиоактивный источник ^{239}Pu . Облучение проводилось в вакуумной камере при плотности потока альфа-частиц на поверхности детекторов $1.5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Результаты измерений вольт-амперных характеристик и энергетического разрешения при разных флюенсах α -частиц Φ_α и напряжении смещения 60 В приведены на рис. 2. Из этого рисунка видно, что с увеличением Φ_α происходит монотонное ухудшение разрешения детекторов из исходного материала, в то время как в детекторах на основе ФТЛ кремния при $\Phi_\alpha \leq 6 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ энергетическое разрешение практически не меняется. При флюенсе α -частиц, равном $2.5 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ как токи утечки, так и энергетическое разрешение для всех детекторов становятся одинаковыми.

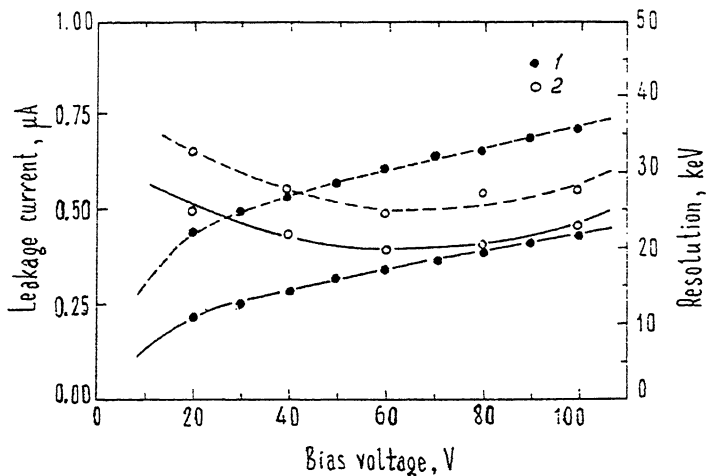


Рис. 1. Зависимости величин обратного тока (1) и энергетического разрешения (2) детекторов из исходного (пунктирная кривая) и ФТЛ (сплошная кривая) кремния от напряжения смещения.

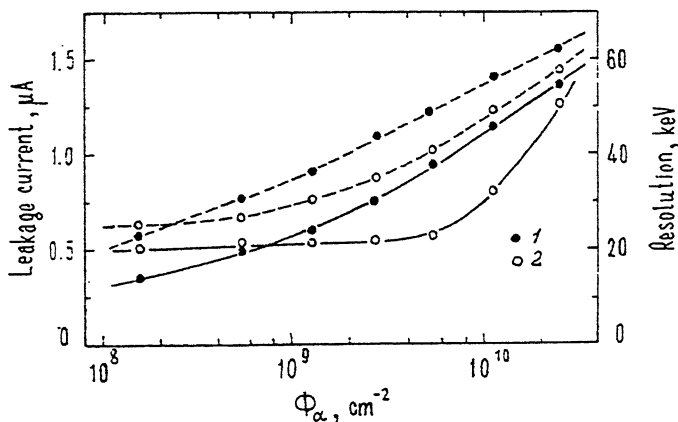


Рис. 2. Зависимости величин обратного тока (1) и энергетического разрешения (2) детекторов из исходного (пунктирная кривая) и ФТЛ (сплошная кривая) кремния от флюенса α -частиц при напряжении смещения 60 В.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что метод фотоядерного трансмутационного легирования позволяет с большой точностью вводить в исходные материалы требуемые концентрации компенсирующей примеси алюминия и получать высокоомный кремний детекторного качества. Величины энергетического разрешения и обратных токов в детекторах на основе ФТЛ кремния оказались несколько лучше, чем у детекторов из исходного

кремния, что указывает на отсутствие эффектов отрицательного влияния радиационной и термической обработки в процессе ФТЛ на основные спектрометрические характеристики поверхностно-барьерных детекторов. В качестве направлений дальнейших исследований по получению высокоомного детекторного кремния *n*-типа представляется необходимым совершенствование методики облучения гамма-квантами исходных слитков с целью достижения более однородного радиального распределения удельного сопротивления в поперечном сечении монокристаллов ФТЛ кремния большого диаметра.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Nuclear Radiation Detector Materials Symp. Boston, Mass., Nov., 1982 / Ed. Haller E.E. et al. New York e. a.: N.-Holl. Publ. Co. 1983. XVI, 243 p.
- [2] К н о л л Г.Ф. // Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res. 1985. V. B24/25. N 1. P. 1021-1027.
- [3] Д р е и е р Р. // Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res. 1990. V. A288. N 1. P. 272-277.
- [4] С м и р н о в Л.С., С о л о в ь е в С.П., С т а с ь В.Ф., Х а р ч е н к о В.А. Легирование полупроводников методом ядерных реакций. Новосибирск: Наука, 1981. 182 с.
- [5] З а б л о ц к и й В.В., И в а н о в Н.А., Л а ш а е в С.И. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 6. С. 45-48.
- [6] Д и р н л и Д., Н о р т р о п Д. Полупроводниковые счетчики ядерных излучений. М.: Мир, 1966. 360 с.

Санкт-Петербургский
государственный технический
университет

Поступило в Редакцию
3 марта 1993 г.