

P13-2004-51

В. Ф. Кушнирук, Э. Бялковский¹, М. Вегжецкий²,
Ю. Э. Пенионжкевич, Ю. Г. Соболев

КРЕМНИЕВЫЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПЛАНАРНЫЕ
ДЕТЕКТОРЫ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

¹Институт ядерной физики им. Г. Неводинчанского, Краков, Польша

²Институт электронной технологии, Варшава

Кушнирук В. Ф. и др.

P13-2004-51

Кремниевые эпитаксиальные планарные детекторы
тяжелых заряженных частиц

Кратко описана методика изготовления кремниевых эпитаксиальных планарных детекторов. Энергетическое разрешение для α -частиц ^{241}Am ($E_\alpha = 5,486$ МэВ) составило 19,3 кэВ при активной площади детектора 2 см^2 . Собственное разрешение 10,2 кэВ свидетельствует, что на основе высокоомных эпитаксиальных слоев Si можно создавать детекторы тяжелых заряженных частиц с высокими спектрометрическими свойствами.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Kushniruk V. F. et al.

P13-2004-51

Silicon Epitaxial Planar Detectors of Heavy Charged Particles

A brief description of a method for manufacturing silicon epitaxial planar detectors is presented. An energy resolution for the ^{241}Am ($E_\alpha = 5.486$ MeV) α -particles has been found to be 19.3 keV at the detector active area 2 cm^2 . An intrinsic resolution of 10.2 keV shows that on basis of high-resistivity epitaxial Si layers one can create heavy charged particle detectors with good spectrometric performances.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

ВВЕДЕНИЕ

Применение эпитаксиальных слоев Si позволяет создавать приборы, обладающие новыми свойствами, или усовершенствовать их известные свойства. В качестве одной из отличительных особенностей эпитаксиальной методики следует отметить возможность получения компактных, интегральных (монокристаллических) детектирующих структур. Модификация в широком диапазоне параметров эпитаксиальных слоев Si позволяет создавать многослойные структуры с уникальными свойствами. Один из примеров широты диапазона изменения параметров — возможность менять удельное сопротивление эпитаксиальных слоев практически на три порядка величины. Особенностью эпитаксиальной методики является также возможность создавать детекторы со строго заданной толщиной чувствительного слоя, что позволяет в некоторых физических экспериментах оптимизировать режим регистрации частиц.

Использование эпитаксиальных слоев Si уже на первом этапе привело к достижению ряда существенных результатов. Например, на основе эпитаксиальных слоев Si были созданы одни из самых тонких ΔE -детекторов с высокой однородностью рабочего слоя [1], а также интегральные $\Delta E - E$ и $\Delta E_1 - \Delta E_2$ детектирующие структуры [2,3]. Как показал наш собственный опыт [4,5], на основе низкоомных ($\rho \approx 30 - 80 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) эпитаксиальных слоев толщиной 20–50 мкм можно создавать детекторы осколков деления с хорошими спектрометрическими параметрами. Следует отметить, что в таких детекторах спектрометрический режим работы достигается при низких значениях напряжения смещения V_b , в частности и при $V_b = 0 \text{ В}$.

Следует здесь также отметить, что в работе [4] было указано на то, что одно из потенциальных преимуществ детекторов на основе низкоомных эпитаксиальных слоев Si — их более высокая радиационная стойкость. В работе [6] экспериментально подтверждено наше предположение о высокой радиационной стойкости детекторов на основе низкоомных эпитаксиальных слоев кремния. Во всем исследованном в этой работе диапазоне флюэнсов 24 ГэВ/с протонов вплоть до $\Phi = 1,3 \cdot 10^{15}$ протонов/см² инверсия проводимости не наблюдается, а эффективность сбора заряда остается близкой к 100 %.

Следующим этапом в разработке эпитаксиальных детекторов было создание детекторов тяжелых заряженных частиц на основе высокоомных слоев Si [7]. Для создания таких детекторов нами использовался эпитаксиальный слой Si с удельным сопротивлением $\approx 1,2 \text{ кОм}\cdot\text{см}$, толщиной 100 мкм, выращенный на низкоомной подложке n^+ -Si, толщина которой составляла

650 мкм. Особенностью методики изготовления этих детекторов было применение гетероперехода $\text{Pd}_2\text{Si} - (\text{n-Si})$ для получения выпрямляющей структуры. На детекторах с гетеропереходом для α -частиц ^{238}Pu ($E_\alpha = 5,49$ МэВ) разрешение по энергии составило 27 кэВ при рабочей поверхности детектора 1 см^2 и 42 кэВ при рабочей поверхности 5 см^2 . Полученные результаты показали перспективность применения высокоомных эпитаксиальных слоев Si для создания на их основе детекторов тяжелых заряженных частиц с хорошими спектротрическими свойствами.

Дальнейшее усовершенствование спектротрических характеристик детекторов было достигнуто благодаря применению планарного процесса при изготовлении детекторов. Применение планарной методики повышает стабильность параметров детекторов и существенно снижает токи утечки детекторов. В настоящей работе описана методика изготовления эпитаксиальных детекторов тяжелых заряженных частиц и приведены результаты исследования их характеристик.

1. МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТЕКТОРОВ

Кремниевые эпитаксиальные (n-n^+)-структуры изготовлены в Институте технологии электронных материалов (ИТМЕ, Варшава) с помощью метода парофазной эпитаксии. Высокоомные эпитаксиальные слои n-Si выращивались на низкоомных, легированных сурьмой монокристаллических кремниевых подложках. Для изготовления детекторов использовались пластины Si со следующими параметрами:

- ориентация пластины $\langle 111 \rangle$, кристаллическая плоскость дезориентирована на 3° ;
- диаметр пластины — 100 мм;
- толщина эпитаксиального слоя — 100 мкм;
- удельное сопротивление эпитаксиального слоя — 3 кОм·см;
- толщина подложки — 400 мкм;
- удельное сопротивление подложки — 0,05 Ом·см.

Выпрямляющие ($\text{p}^+ - \text{n-n}^+$)-структуры были изготовлены в Институте электронной технологии (ИТЕ, Варшава). В отличие от стандартной планарной технологии, в которой используется ионное легирование, в методике, разработанной в ИТЕ, для создания (p-n)-перехода применяется диффузия бора. Диффузия бора осуществляется из тонкого аморфного слоя кремния, легированного бором.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ

Исследованные детекторы имели следующие параметры:

- активная поверхность детектора — 2 см^2 ;
- толщина активной области — 100 мкм ;
- напряжение полного обеднения — 12 В ;
- ток утечки детектора при $V_b = 10 \text{ В}$ — 12 нА .

На рис. 1 показано распределение амплитуд сигналов, полученное при облучении детектора α -частицами ^{241}Am при напряжении смещения $V_b = 20 \text{ В}$. Спектр набран при таком режиме работы, когда V_b больше напряжения полного истощения $V_{fd} = 12 \text{ В}$. Из рис. 1 видно, что энергетическое разрешение, определенное как полная ширина линии на половине высоты распределения α -частиц, составляет $19,3 \text{ кэВ}$. Полученное значение энергетического разрешения для эпитаксиальных детекторов близко к величине энергетического разрешения аналогичных по площади и толщине рабочего слоя детекторов фирм EG&G ORTEC и Canberra, изготовленных по планарной технологии на пластинах кремния, вырезанных из объемных слитков.

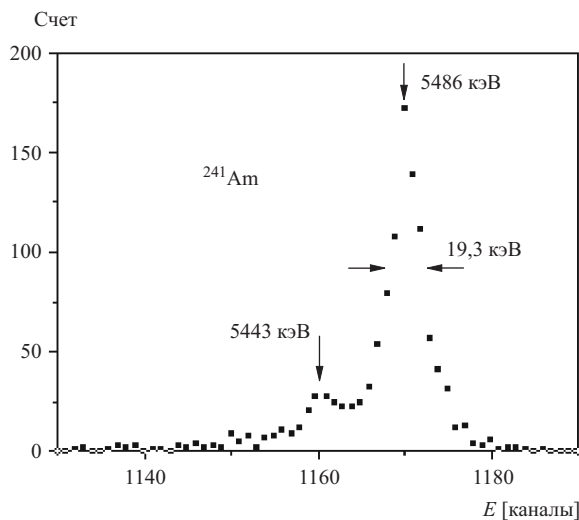


Рис. 1. Энергетический спектр α -частиц ^{241}Am

Как видно из рис. 1, в спектре α -частиц нет резкого, характерного для полупроводниковых детекторов, спада с правой стороны распределения амплитуд сигналов. В области малой интенсивности счета наблюдается «потянутость» спектров в сторону больших энергий, что не связано с какими-либо

особенностями отклика эпитаксиального детектора. Такая форма распределения обусловлена тем, что в области энергий выше 5,486 МэВ в спектре α -частиц ^{241}Am присутствуют неразрешенные линии, суммарная интенсивность которых составляет $\sim 0,5\%$ от общего числа α -распадов.

Собственное энергетическое разрешение детектора определяется формулой

$$R_{\text{соб}} = (R_{\text{изм}}^2 - R_{\text{ген}}^2)^{0,5}, \quad (1)$$

где $R_{\text{изм}}$ — измеренное значение разрешения пика α -частиц; $R_{\text{ген}}$ — разрешение генераторного пика. Распределение амплитуд сигналов от генератора точной амплитуды, полученное при напряжении $V_b = 20$ В, показано на рис. 2.

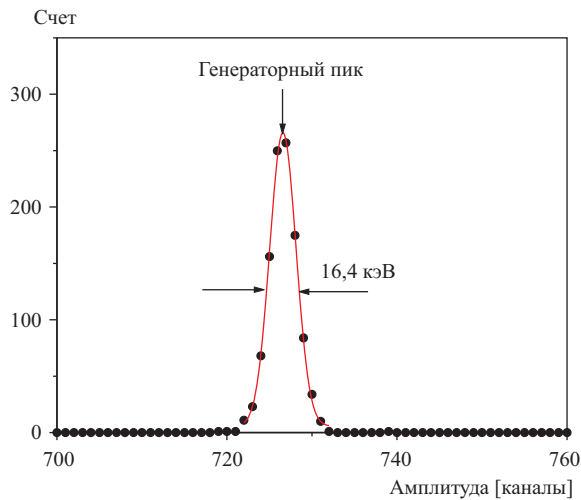


Рис. 2. Распределение амплитуд сигналов генератора

Ширина генераторного пика составляет $R_{\text{ген}} = 16,4$ кэВ. Используя формулу (1), получаем, что $R_{\text{соб}}$ при $V_b=20$ В составляет 10,2 кэВ. Полученное значение $R_{\text{соб}} = 10,2$ кэВ для детектора с площадью рабочей поверхности $S = 2$ см² показывает, что высокоомные эпитаксиальные слои Si обеспечивают создание на их основе детекторов тяжелых заряженных частиц с высокими спектрометрическими свойствами.

На рис.3 показаны зависимости амплитуд сигналов от напряжения, приложенного к детектору. Для этой цели был использован источник α -частиц ^{226}Ra . Этот источник дает возможность проследить изменение амплитуд сигналов для пяти групп α -частиц в одном измерении. Из рис. 3 видно, что амплитуды сигналов практически не зависят от приложенного к детектору напряжения. Амплитуда сигналов возрастает всего лишь на $\sim 0,5\%$ при из-

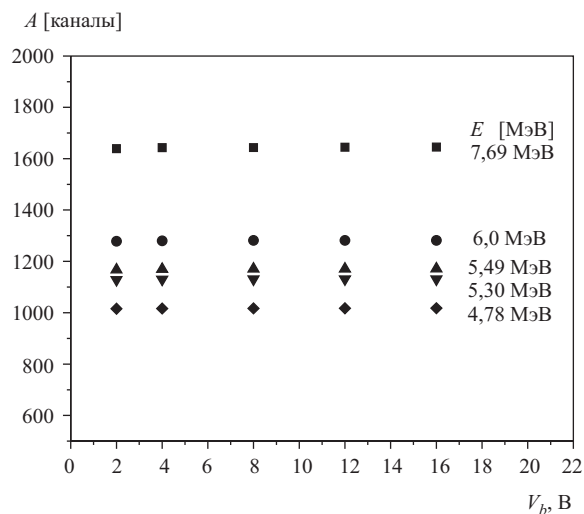


Рис. 3. Зависимость амплитуд сигналов α -частиц ^{226}Ra от напряжения смещения

менении напряжения смещения в восемь раз, при этом амплитуда генераторного пика возрастает на 0,07%. Полученные зависимости свидетельствуют о хорошем собирании генерированного частицей заряда при низких значениях напряжения смещения, а также о слабой зависимости емкости детектора от напряжения смещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Osada S. et al. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1978. V. NS-25. P. 371.
2. Kim C. et al. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1980. V. NS-27. P. 258.
3. Kim Y. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 1984. V. A266. P. 25.
4. Кушнирук В.Ф. и др. // Приборы и техника эксперимента. 1997. № 1. С. 62.
5. Кушнирук В.Ф. и др. // Приборы и техника эксперимента. 1997. № 3. С. 34.
6. Kramberger G. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 2003. V. A515. P. 665.
7. Кушнирук В.Ф. и др. // Приборы и техника эксперимента. 2000. № 5. С. 17.

Получено 14 апреля 2004 г.

Редактор *М. И. Зарубина*
Макет *Н. А. Киселевой*

Подписано в печать 8.04.2004.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,???. Уч.-изд. л. 0,???. Тираж ?? экз. Заказ № ??.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.
E-mail: publish@pds.jinr.ru
www.jinr.ru/publish/