

С 344. 1 м

3-862

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

3348/1-71



P 13- 5970

Г.Н. Зорин, В.Ф. Кушнирук,

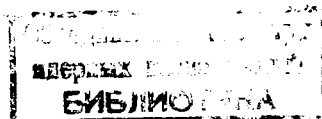
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
КРЕМНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ
 ΔE -ДЕТЕКТОРОВ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Р 13- 5970

Г.Н. Зорин, В.Ф. Кушнирук,

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
КРЕМНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ
 ΔE -ДЕТЕКТОРОВ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ**

Направлено в ПТЭ



Полупроводниковые ΔE -детекторы в последние годы используются взамен ионизационных камер из-за простоты в эксплуатации и малости входных и выходных окон ($30+40$ мкг/см²). Они применяются, например, для идентификации продуктов ядерных реакций в методике $\Delta E \times E^{1/1}$.

1. Требования к изготовлению полупроводниковых

ΔE -детекторов

Основные требования к изготовлению полупроводниковых ΔE -детекторов следующие: вклад в энергетическое разрешение от среднеквадратичного разброса по толщине не должен превышать вклада от статистических флуктуаций δ -электронов; достижение полем объемного заряда обратного контакта не должно ухудшать характеристик детектора; мертвые зоны должны быть минимальны^{/2/}.

2. Основные операции методики изготовления полупроводниковых

ΔE -детекторов

Наиболее существенные операции методик изготовления полупроводниковых ΔE -детекторов, описанные в работах^{/2,3/}, сводятся к следующим: изготовление плоскопараллельных пластин механическим способом; очист-

ка от загрязнений поверхностей пластин после механической обработки; химическое травление с сохранением плоскопараллельности; нанесение контактов и крепление детектора в оправке.

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ разработана оригинальная методика изготовления кремниевых поверхностно-барьерных (п-б) ΔE - детекторов толщиной $15+140$ мкм с плоскопараллельностью $< 0,5$ мкм на диаметре $20+28$ мм и рабочей площадью $0,2+1,5$ см².

3. Характеристики кремниевых п-б ΔE -детекторов

Исследовались характеристики $20 \Delta E$ -детекторов, изготовленных из пластин кремния n -типа с удельным сопротивлением $0,5+2,5$ ком-см. Часть характеристик приведена в этой работе.

На рис. 1а,б приведены типичные зависимости обратного тока и емкости от напряжения смещения ($U_{см}$) для ΔE -детекторов.

Стрелками на вольт-амперных ($V-I$) характеристиках показаны напряжения смещения, при которых наступает изгиб соответствующей вольт-емкостной ($V-C$) характеристики, указывающий на наступление полного истощения детектора. Тем самым изгиб на $V-C$ характеристике дает возможность экспериментально установить начало рабочего $U_{см}$, а также при известной геометрии контактов ΔE -детектора определить его толщину. Такое определение толщины с достаточной точностью совпадает с определением по потерям энергии α -частиц в кремнии^{/4/}.

Плавный ход $V-I$ характеристик в области полного истощения указывает на то, что отсутствует явление инжекции неосновных носителей из обратного контакта в область чувствительного слоя.

Токи, соответствующие рабочей области $U_{см}$, изменяются для различных детекторов в пределах $0,15+0,80$ мка, что позволяет их использо-

вать для спектрометрии. Как видно из сводной таблицы, разрешение по полному поглощению для α -частиц ^{241}Am ($E_\alpha = 5,48$ Мэв) со стороны Al при напряжениях больших, чем начальное напряжение истощения, лежит в области 26–42 кэв.

Как следует из рис. 1а, ΔE -детекторы выдерживают без пробоя напряжения, в 3–5 раз большие напряжения начала полного истощения, и тем самым обеспечивают широкую рабочую область $U_{\text{см}}$.

Из рис. 2 видно, что изменение $V-I$ характеристик, которые снижались при различной комнатной температуре в течение 15 месяцев для детектора с толщиной 56 мкм и 6 месяцев для детектора 26 мкм, выраженное в сужении рабочей области $U_{\text{см}}$ из-за увеличения обратного тока, не сдвигает начального напряжения полного истощения ΔE -детекторов и таким образом подтверждает правильность выбора неинъецирующего материала в качестве обратного контакта ^{/5/}.

Другим способом проверки полного истощения является сравнение энергетического положения и разрешения α -линии при облучении ΔE -детектора с передней и задней стороны.

На рис. 3 показаны α -спектры от ^{241}Am при облучении ΔE -детектора ($d = 140$ мкм, $U_{\text{см}} = 60$ в) со стороны золота и алюминия. Пробег α -частиц полностью укладывался в детекторе.

Совпадение разрешений при облучении с двух сторон (26 кэв) и малость сдвига (3–4 кэв) говорят о том, что имеется полное истощение детектора, а сам сдвиг объясняется различием энергетических потерь в переднем и заднем контактах.

При напряжениях смещения ниже начального напряжения истощения (рис. 4а,б) разрешение ухудшается при облучении со стороны заднего контакта и одновременно увеличивается сдвиг α -линии в сторону уменьшения энергий по сравнению с α -линией при облучении со стороны пе-

реднего контакта. Эти эффекты обусловлены появлением мертвой зоны со стороны заднего контакта, что приводит к увеличению рекомбинационных потерь во время собирания части носителей заряда путем диффузии в область сильного поля.

При $U_{см}$ выше начального напряжения истощения разрешение α -частиц не ухудшается в случае облучения со стороны золота.

Наиболее важной характеристикой является энергетическое разрешение ΔE -детектора, когда пробег частиц в кремнии превышает толщину детектора.

В работе измерялось энергетическое разрешение ΔE -детекторов с толщинами 15,49,4 мкм при облучении по всей рабочей площади α -частицами ^{212}Po ($E_{\alpha} = 8,78$ Мэв) и ^{212}Bi ($E_{\alpha} = 6,06$ Мэв).

Чтобы исключить вклад в энергетическое разрешение от расходимости α -пучка, расстояние между детектором и α -источником выбиралось по формуле:

$$l = D\sqrt{d/2\delta d},$$

где D - диаметр рабочей площади ΔE -детектора, d - толщина детектора, δd - задаваемое максимальное отклонение в пробеге α -частицы из-за расходимости пучка.

Распределение энергетических потерь в ΔE -детекторе, как видно из рис. 5, описывается функцией Гаусса, нормированной к экспериментальным значениям.

На рис. 6 приведено сравнение экспериментального разрешения по энергии α -частиц ($E_{\alpha} = 8,78$ Мэв) для двух серий ΔE -детекторов с численными расчетами ^{/8,7/} кинетического уравнения для флуктуаций ионизационных потерь с учётом изменения скорости частицы вдоль ее пути при прохождении через детектор.

Вклады шумов электроники и детекторов в энергетическое разрешение не учитывались, так как они не превышают $15-20$ кэв.

Экспериментальные точки из каждой серии в общем передают ход теоретической кривой.

Отклонение по абсолютному значению экспериментальных точек от теоретической кривой обусловлено среднеквадратичным разбросом по толщине σ . Значения σ , рассчитанные с учётом этой кривой, приведены в сводной таблице.

Как следует из таблицы, для 1 серии детекторов среднеквадратичный разброс равен $0,46$ мкм, а для улучшенной серии, изготовленной с введением в методику дополнительной операции, — $0,32$ мкм. Разброс значения σ для двух серий показывает хорошую повторяемость результатов для ΔE -детекторов, изготовленных с помощью разработанной методики.

Выводы, полученные в работе ^{/8/} из аналогичного сравнения экспериментального энергетического разрешения с расчётами Чэлера, вызваны ошибкой в пересчёте теоретической кривой из работы ^{/6/}. А предполагаемая авторами работы ^{/8/} константа $15,5$ взамен константы $10,1$ в формуле из работы ^{/9/} для полуширины энергетического распределения лишена смысла.

На рис. 7 приведены результаты измерения толщины пластины вдоль диаметра для ΔE -детекторов с помощью α -частиц ($E_\alpha = 5,48$ Мэв). Для детектора 28 мкм, взятого из 1 серии, среднее отклонение равно $\pm 0,22$ мкм, а для детектора $27,6$ мкм из 2 серии — $\pm 0,15$ мкм. Диаметр используемого коллиматора в измерениях равен $0,5$ мм, а точность измерения — $0,04$ мкм.

Вышеизложенные результаты показывают, что кремниевые п-б ΔE -детекторы, изготовленные с помощью разработанной методики, удовлетворяют требованиям современного эксперимента.

В заключение авторы благодарят Г.Н. Флерова за постоянный интерес к работе, а также выражают благодарность за помощь в работе Е.Д. Воробьеву и Ю.П. Харитонову.

Литература

1. J. Cerny, S.W. Cospers, G.W. Butler, H. Brunnader, R.L. McGrath, F.S. Goulding. Nucl. Instr. and Meth., 45, 337 (1966).
2. I.F. Mollenauer, S. Wagner and G.L. Miller. Report BNL-737 (1962).
3. T.C. Madden, W.M. Gibson. IEEE Trans. NS-11, No.3, 254 (1964).
4. H. Bichsel, C. Tschalär. Nucl. Data, Sec. A, v.3, № 3, 343 (1967).
5. P.T. Andrews. Proc. Symposium on Nucl. Instr. (Academic Press Inc.), N.Y., 1962, p.93.
6. C. Tschalär. Nucl. Instr. and Meth., 61, 141 (1968).
7. C. Tschalär. Nucl. Instr. and Meth., 64, 237 (1968).
8. В.В. Авдейчиков и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, №1, 210 (1970).
9. N. Bohr. Phil. Mag., 30, 581 (1915).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 июля 1971 года.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА

Толщина детектора d (мкм)	Рабочая площадь S (см ²)	Средне- кв. разброс по толщине σ (мкм)	Рабочее напряжение U (В)	Разрешение по полному поглощению со стороны Al для $E_{\alpha} = 5,48$ МэВ (кэВ)	Разрешение (кэВ)	
					$E_{\alpha} =$ 6,06 МэВ	$E_{\alpha} =$ 8,78 МэВ
140,0	1,54	20,5	60,0	26	-	-
49,4 ^x	0,52	0,29	15,0	30	-	304
47,0	0,52	0,42	25,0	42	-	310
41,0	0,52	0,49	27,0	31	-	258
28,0	0,28	0,45	9,0	29	-	200
28,0 ^x	0,28	0,35	14,5	35	298	165
26,0 ^x	0,28	0,32	29,0	31	183	151
15,0	0,20	0,50	8,5	-	204	150

x) Детекторы, относящиеся ко II серии.

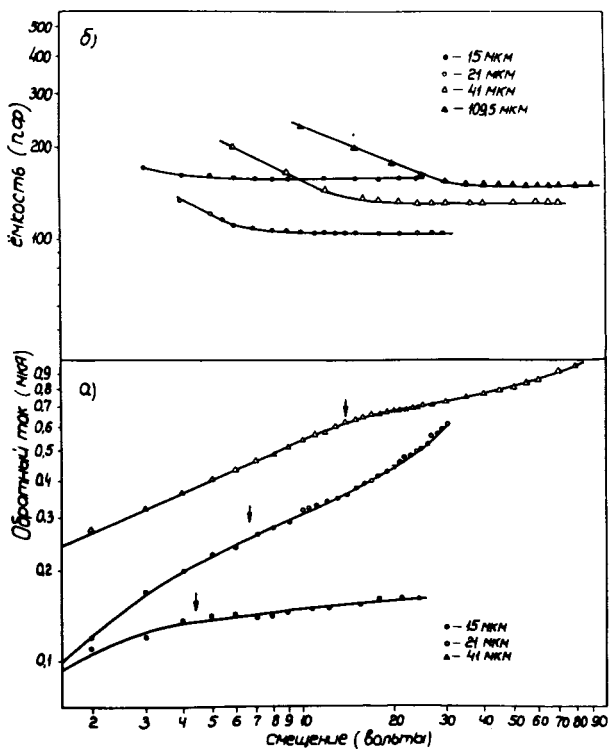


Рис. 1. Вольт-амперные (а) и вольт-емкостные (б) характеристики ΔE -детекторов.

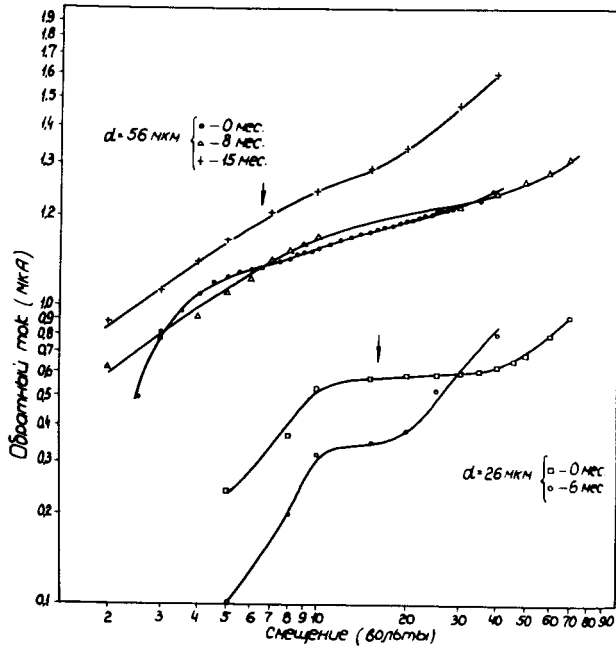


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики ΔE -детекторов, снятые через определенные промежутки времени.

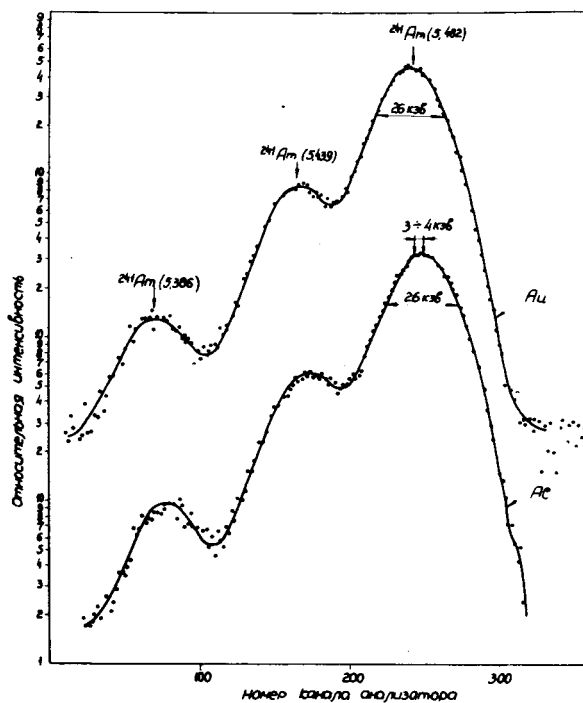


Рис. 3. Энергетические спектры α -частиц ^{241}Am ($E_\alpha = 5,48$ МэВ), снятые со стороны золота и алюминия на ΔE -детекторе ($d = 140$ мкм, $U_{\text{см}} = 60$ в) при одном и том же усилении электронного тракта.

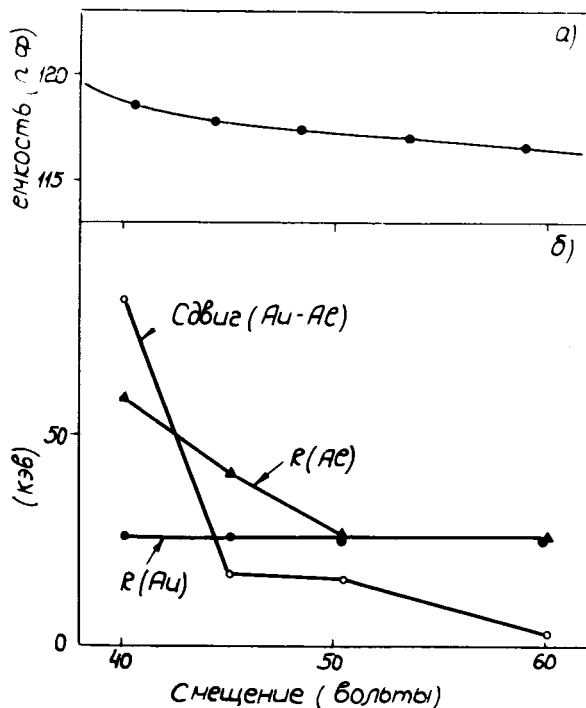


Рис. 4. а) Участок вольт-емкостной характеристики ΔE -детектора ($d = 140$ мкм) в области начала полного истощения детектора. б) 1) Сдвиг по энергии α -линии (по полному поглощению) со стороны алюминия по отношению к α -линии со стороны золота при облучении α -источником ^{241}Am ($E_\alpha = 5,48$ Мэв) ΔE -детектора ($d = 140$ мкм) (о). 2) Энергетическое разрешение α -линии ^{241}Am ($E_\alpha = 5,48$ Мэв) по полному поглощению со стороны золота (●) и алюминия (▲) в ΔE -детекторе ($d = 140$ мкм) в зависимости от $U_{\text{см}}$.

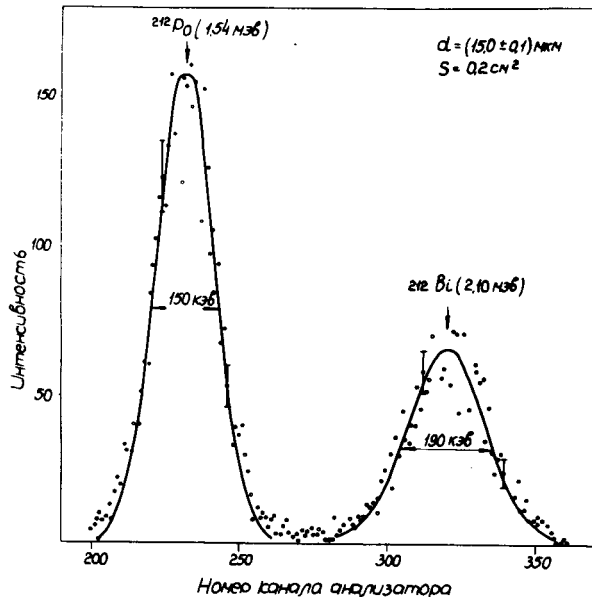


Рис. 5. Распределение энергетических потерь ΔE (o) при прохождении α -частиц ^{212}Po ($E = 8,78$ Мэв) и ^{212}Bi ($E = 6,06$ Мэв) через ΔE -детектор. Сплошная линия - распределение Гаусса, нормированное к экспериментальным значениям.

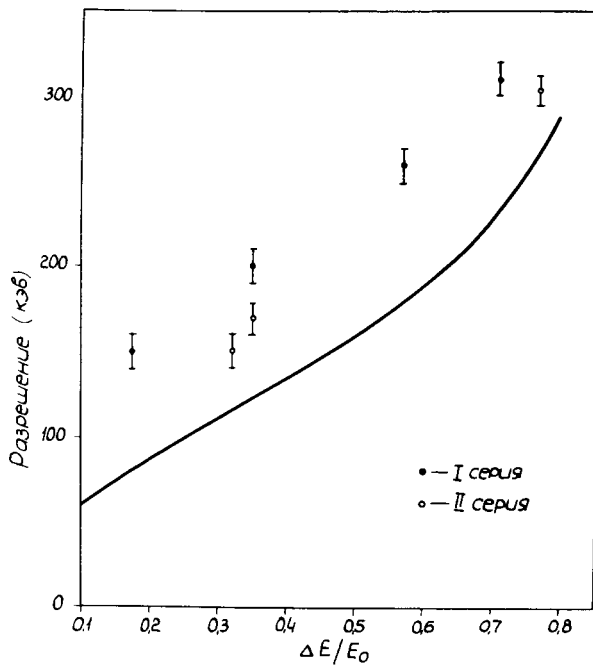


Рис. 6. Сравнение экспериментального энергетического разрешения ΔE - детекторов для α -частиц ^{212}Po ($E_\alpha = 8,78$ Мэв) с численными расчётами Чэлера точного кинетического уравнения для флуктуации ионизационных потерь (сплошная кривая) /6/.

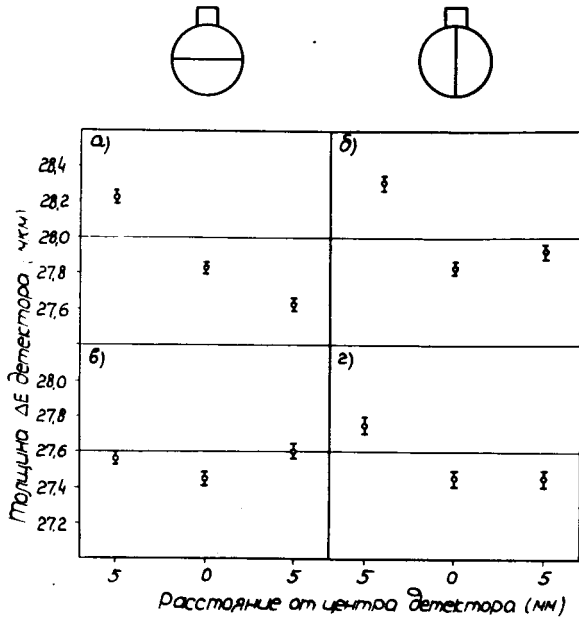


Рис. 7. Разброс по толщине, измеренный по потерям энергии α -частиц ^{241}Am ($E_\alpha = 5,48$ Мэв), для кремниевых п-б ΔE -детекторов с толщинами 28 мкм (а,б) и 27,6 мкм (в,г).