

СЗ44.1.11

3-862

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 6108

47/72
11-

6108

Г.Н. Зорин, В.Ф. Кушнирук

О ПРЕДЕЛЬНОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РАЗРЕШЕНИИ

Δ E-ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ α -ЧАСТИЦ

АДМИНИСТРАЦИЯ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

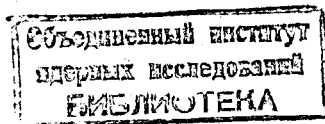
1971

P13 - 6108

Г.Н. Зорин, В.Ф. Кушнирук

О ПРЕДЕЛЬНОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РАЗРЕШЕНИИ

Δ Е-ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ α -ЧАСТИЦ



Теоретический предел энергетического разрешения ΔE - детекторов определяют статистические флуктуации ионизационных потерь заряженных частиц при прохождении их через детектор. Расчет ионизационных потерь в поглотителях для $\Delta E < 0,1 E_0$ был выполнен Бором ^{/1/}. В этом случае распределение ионизационных потерь имеет симметричную форму, а ширина линии на половине высоты дается выражением

$$\delta (\text{кэВ}) = 10,1 z \sqrt{t (\text{мкм})},$$

где z - заряд ионизирующей частицы, t - толщина кремниевого поглотителя. При выводе формулы не учитывалось изменение скорости частицы в процессе торможения ее вдоль пути t .

Однако условие $\Delta E < 0,1 E_0$ не выполняется для α - частиц с энергией 5-9 Мэв при прохождении ΔE - детекторов толщиной 10-50 мкм. Потери в этом случае составляют большую долю начальной энергии вплоть до $\Delta E \approx 0,9 E_0$.

Теоретический расчет функции распределения ионизационных потерь для величин $\Delta E \leq 0,8 E_0$, с учетом изменения скорости ионизирующей частицы вдоль пути в поглотителе, дан Чэлером ^{/2/}. Экспериментальные результаты, полученные на протонах ^{/3,4/}, хорошо совпадают с теоретическими расчетами как по форме распределения, так и по ширине линии.

Сравнение экспериментального энергетического разрешения кремниевых поверхностно-барьерных ΔE - детекторов в области энергий α - частиц 5-9 Мэв с теоретическими расчетами ^{/1,2/} было проделано в работе ^{/5/}, в которой в качестве оценки предельного разрешения предлагается использовать формулу

$$\delta (\text{кэВ}) = 15,5z \sqrt{t (\text{мкм})}$$

для α -частиц с энергией ~ 9 МэВ. Как указано в /6/, ошибочный вывод о получении предельно возможного разрешения ΔE - детекторов вызван ошибкой в пересчете теоретической зависимости энергетического разрешения от толщины детектора. В действительности, их экспериментальные результаты лежат значительно выше теоретической кривой.

В данной работе сделана попытка найти причину расхождения между теорией и экспериментом.

На основании работ /3,4/ мы можем сделать предположение, что в области энергий α -частиц 5-9 МэВ для детекторов толщиной от 10 до 50 мкм распределение ионизационных потерь соответствует расчетному, а отклонение экспериментальных величин от расчета связано с микронеровностями поверхностей детектора. Тогда вклад неравномерности толщины в разрешающую способность детектора определяется из выражения

$$\delta_t = (\delta_{\text{изм.}}^2 - \delta_{\text{расч.}}^2)^{1/2},$$

где $\delta_{\text{изм.}}$ - измеренная ширина распределения ионизационных потерь на половине максимума, $\delta_{\text{расч.}}$ - расчетная ширина по Чэлеру.

Если предположить, что толщина детектора для различных точек по поверхности распределена по закону Гаусса $f(t) = \frac{1}{\sigma_t} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma_t^2}}$,

тогда можно оценить σ_t , среднеквадратичное отклонение от средней толщины t_0 , используя известное соотношение $\delta_t = 2,35 \sigma_t$. Ис-

пользуя значение $\frac{dE}{dx}$ для энергии α -частиц на выходе ΔE - детектора, легко определить σ_t в мкм, так как $\sigma_t (\text{кэВ}) = \sigma_t (\text{мкм}) \times$

$\frac{dE}{dx} |_{E_0 - \Delta E}$ (кэВ/мкм). Значение удельных потерь энергии и пробеги

для α -частиц в кремнии были взяты из работы /7/.

Обработанные таким образом экспериментальные результаты работы /5/ приведены в таблице. Величина ошибки $\pm 0,05$ мкм определяется точностью измерения. Номера измерений 1-4 соответствуют экспериментальным данным, полученным при энергии α -частиц 8,78 МэВ; 7,68 МэВ; 6,12 МэВ

и 5,48 Мэв. Как видно из таблицы, среднеквадратичное отклонение толщины детектора от среднего значения для разных детекторов колеблется от 0,32 мкм до 0,43 мкм. Так как σ_z связано с микронеровностями, которые расположены на обеих поверхностях случайным образом, то легко определить шероховатость одной поверхности детектора, разделив полученное значение σ_z на $\sqrt{2}$.

Подтверждением правильности выбранных предположений является то, что в пределах точности эксперимента вычисленная величина σ_z не зависит от энергии, при которой было сделано ее измерение. Кроме того, экспериментальные данные, полученные на кремниевых поверхностно-барьерных ΔE - детекторах, изготовленных в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ, прямо показывают на сильную зависимость разрешающей способности ΔE - детекторов от неравномерности толщины детектора. В работе /6/ приводятся результаты по разрешающей способности для двух серий ΔE - детекторов с различной обработкой поверхности заготовок. Значение σ_z для серии с улучшенной обработкой поверхности равно $(0,32 \pm 0,03)$ мкм для различных толщин детекторов (25-50 мкм), а для серии, изготовленной из заготовок без дополнительной обработки, - $(0,46 \pm 0,04)$ мкм в диапазоне толщин от 15 до 50 мкм. Независимость σ_z от толщины ΔE - детектора в серии является дополнительным подтверждением сделанных предположений.

Приведенные выше результаты показывают, что при среднеквадратичном разбросе по толщине ΔE - детектора 0,3 - 0,4 мкм невозможно прямо измерять предельное разрешение для α - частиц с энергией 5-9 Мэв. В этом случае разброс потерь энергии из-за неравномерности толщины детектора сравним со статистическим разбросом потерь энергии, обусловленным флуктуациями числа образованных δ - электронов, а иногда превышает его. Для получения предельного энергетического разрешения ΔE - детекторов толщиной 10-50 мкм в диапазоне энергий α - частиц 5-9 Мэв необходимо обеспечить среднеквадратичный разброс по толщине заготовки ниже 0,1 мкм.

В заключение авторы выражают благодарность Г.Н. Флерову за интерес к работе, Ю.П. Харитонову за полезные обсуждения.

Литература

1. N. Bohr. *Phil. Mag.*, 30, 581 (1915).
2. C. Tschalär. *Nucl.Instr. and Meth.*, 61, 141 (1968).
3. J. J. Kolata, T.M. Amos and Hans Bichsel. *Phys.Rev.*, 176, No. 2, 484 (1968).
4. C. Tschalär. *Nucl.Instr. and Meth.*, 64, 237 (1968).
5. В.В. Авдейчиков и др. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 34, №1, 210 (1970).
6. Г.Н. Зорин, В.Ф. Кушнирук. *Препринт ОИЯИ, P13-5970*, Дубна, 1971.
7. H. Bichsel, C. Tschalär. *Nucl.Data, Sec. A, v. 3, No. 3*, 343 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 октября 1971 года.

Таблица. Вычисленные значения σ_t (мкм)
для различных детекторов

Номер измерения	Толщина образцов (мкм)			
	$t = 10$	$t = 13,3$	$t = 23,1$	$t = 26$
1	0,29	0,28	0,34	0,39
2	0,35	0,34	0,44	0,42
3	0,30	0,37	0,40	0,44
4	0,34	0,36	0,36	0,49
$\bar{\sigma}_t$	$0,32 \pm 0,05$	$0,34 \pm 0,05$	$0,38 \pm 0,05$	$0,43 \pm 0,05$