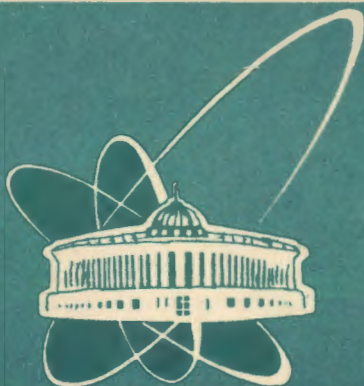


93-142



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P7-93-142

Ю.С.Цыганов, А.Н.Поляков

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ВЕЛИЧИНЫ
ПОЛНОГО ДЕФЕКТА АМПЛИТУДЫ
ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
СПЕКТРА СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ
ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ЯДЕР

1993

1. ВВЕДЕНИЕ

Применение кинематических сепараторов в экспериментах на пучках тяжелых ионов привело к созданию детектирующих систем на основе сборок из полупроводниковых детекторов, перекрывающих заметный размер (до 12 см) в фокальной плоскости установки. При этом продукт реакции имплантируется на глубину в несколько микрон по отношению к границе раздела металл-полупроводник. В ходе эксперимента обычно пытаются извлечь максимальную информацию об исследуемом продукте. Одной из характеристик спонтанно делящихся нуклидов является величина средней суммарной кинетической энергии (ТКЕ). Хотя постановка опытов на кинематических сепараторах не является идеальной с точки зрения прецизионного измерения ТКЕ, однако предполагает возможность модельного извлечения указанного параметра [1,2] и трактовку его как необходимого звена в цепи аргументов, приводимых с целью идентификации.

Данная работа посвящена вопросу выбора основного параметра численной модели спектра спонтанно делящихся нуклидов.

2. КОНЦЕПЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ И ЕЕ ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Одной из основных характеристик полупроводникового детектора при регистрации тяжелых ионов является значение полного дефекта амплитуды (РНД), складывающееся из потерь во входном окне, потерь за счет рекомбинации и потерь на ядерное рассеяние. При работе с высокоомными детекторами и частицами типа "осколок деления" вторая из названных компонент обычно превосходит две оставшиеся. Что касается механизма образования рекомбинационной компоненты, то наиболее адекватной наблюдаемым на тяжелых ионах потерям заряда является рекомбинация через поверхностные состояния [3]. Если границу металл-полупроводник (а следовательно, и распределение поверхностных состояний) понимать буквально, то в интересующем нас случае имплантации синтезированного спонтанно делящегося нуклида следует отметить две противоположные тенденции:

- тенденцию роста РНД за счет сильной угловой зависимости [4],
- тенденцию уменьшения по мере уменьшения приповерхностной концентрации генерированного ионом заряда.

Заметим, что на все это накладывается фактор усреднения, связанный с амбиполярной диффузией неравновесных носителей. Так, например, для ^{132}Xe с энергией 92 МэВ плазменное время согласно [5] для $n\text{-Si}$ 2200 Ом·см и смещения 66 вольт составляет 24 нс и, соответственно, характерный размер $(2D_p\tau_p)^{1/2} = 9$ мкм, что сравнимо с пробегом осколков. Здесь D_p - коэффициент амбиполярной диффузии, τ_p - плазменное время.

С учетом изложенного, основным предположением модели расчета спектра является утверждение о том, что все события спонтанного деления могут быть охарактеризованы единым средним значением РНД, которое, вообще говоря, может отличаться от такового для нормально падающей частицы. Заметим, что важным следствием этого предположения является то, что обычный источник осколочной активности, расположенный в геометрии, близкой к 2π , может рассматриваться как частный случай имплантированного нуклида с нулевой (или даже отрицательной с учетом толщины источника и входного окна) глубиной имплантации.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО РНД

Генерация спектров для определения искомой величины была произведена для изотопов ^{248}Cm , ^{252}Cf , ^{244}Fm , ^{252}No . Параметры деления были взяты из литературных источников [6,7,8], условия работы детекторов изложены выше, условия синтеза изотопов ^{244}Fm , ^{252}No приведены в [9]. Схема генерации спектров с использованием метода Монте-Карло соответствует [1,2]. Для генерации линии ТКЕ спектра масс осколков, флуктуации рекомбинационных потерь и пробега в кремнии самого рекойла применялось нормальное распределение. Энергии осколков брались в обратной пропорции к их массам. Удельные потери осколков аппроксимировались линейными зависимостями [10]. Программа расчета написана на языке Турбо Паскаль v.06. Основными входными параметрами являются: величины РНД, ТКЕ, пробег рекойла, массы и пробеги среднего легкого и среднего тяжелого осколков при фиксированном среднем ТКЕ (в процессе счета программа сама вносит поправку на текущее значение), а также их дисперсии.

Выходными параметрами являются собственно амплитудный спектр и его первых два момента. Изменения давления газа в сепараторе не учитывались (это немного увеличивает дисперсию пробега рекойла). Критерием успеха считалось соответствие первых моментов распределения в пределах 1,5 МэВ, "мёртвый" слой детекторов оценен

как $0,23 \pm 0,12$ мкм эквивалентного слоя кремния. Такая оценка была получена из сравнения аппаратурных значений энергии α -распада для одного и того же нуклида с применением калибровки последовательно из внутреннего и внешнего источников. В качестве последнего использован источник ThC (6,062, 8,785 МэВ) [11], толщиной которого мы пренебрегали. Величина ошибки учитывает статистический разброс смещения амплитуд для трех детекторов и двух линий, а также предполагаемую точность пренебрежения толщиной источника. При таких рассуждениях связь искомой величины "мертвого" слоя с аппаратурным сдвигом имеет вид:

$$\text{shift} = Q_{\alpha} - E_{\alpha} - \text{PHD} \cdot \delta W,$$

где:

E_{α} - энергия α -частицы,

Q_{α} - энергия α -распада,

PHD - дефект амплитуды для ядра отдачи при α -распаде (считался как столкновительная компонента по методике [12], прочим пренебрегали),

shift - аппаратурно измеренный сдвиг для одной и той же линии,

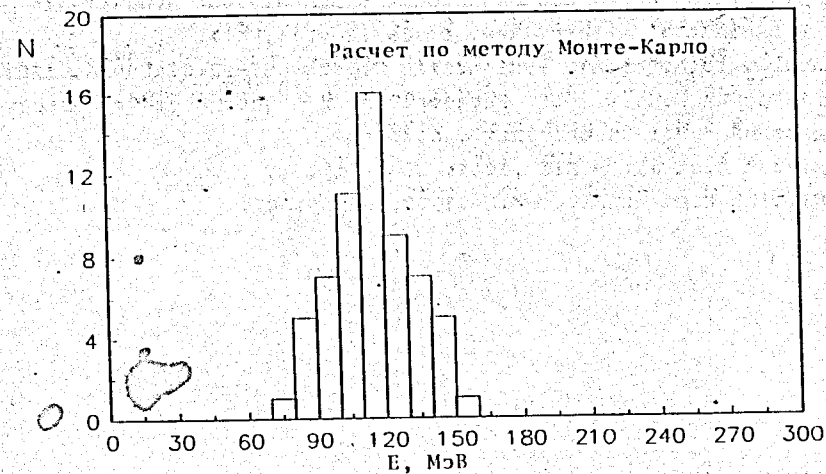
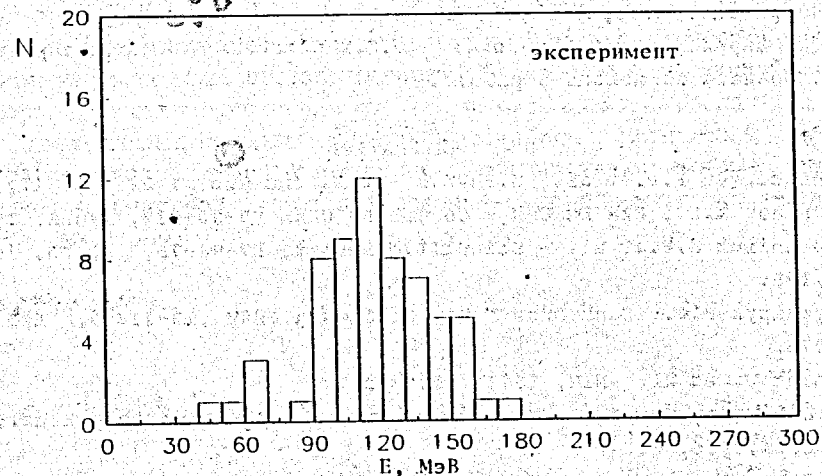
δW - искомая величина "мертвого" слоя.

Результаты параметризации приведены в таблице, а на рис. 1 показаны расчетный и экспериментальный спектры ^{244}Fm .

изотоп	PHD, %	ТКЕ, МэВ
^{248}Cm	32 ± 1	182
^{252}Cf	30 ± 2	186
^{244}Fm	31 ± 2	196
^{252}No	38 ± 5	202

Таким образом, получено самосогласование модели в пределах не хуже 3%. Эффективное среднее значение PHD соответствует 32%.

В качестве косвенного аргумента, подтверждающего принятую модель, следует отметить следующее: если рассчитать значение PHD для нормально падающего иона, используя значение скорости поверхностной рекомбинации 12000 см/с и методику [12] для учета потерь на ядерное рассеяние, то расчетное значение 24% в сопоставлении с полученным 32% при формальном применении угловой зависимости [4] соответствует среднему углу примерно 55° , что вполне удовлетворительно соотносится с изотропным распределением осколков деления.



4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторы считают предложенный способ параметризации приемлемым для моделирования работы полупроводниковых детекторов при регистрации распада имплантированных ядер. В дальнейшем, по нашему мнению, представляется интересным изучение распадов ядер, имплантированных на большую глубину, что может обнаружить уменьшение эффективного значения РНД. Авторы считают приятным долгом поблагодарить В.Ф.Кушнирука, В.К.Утенкова, Ю.П.Харитонову, Ю.А.Лазареву и Ю.В.Лобанова за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hessberger F.P. et al. Z.Phys.A -Atoms and Nuclei 321, p.317, 1985.
2. Цыганов Ю.С., Рим Юн Сен. - Сообщения ОИЯИ P7-90-112, Дубна, 1990.
3. Kushniruk W.F. et al. - Scientific Report, E7-91-75, Dubna, 1991, p.195.
4. Кушнирук В.Ф., Харитонов Ю.П. - Сообщения ОИЯИ, 13-11889, Дубна, 1976.
5. Seibt W. et al. - NIM, 1973, 113, p.317
6. Ю.П.Гангрский и др. - "Осколки деления ядер", Энергоатомиздат, Москва, 1986, с.72.
7. Д.Д.Богданов и др. - Сообщения ОИЯИ, P15-81-706, Дубна, 1981.
8. С.Е. Bemis et al. - Phys. Rev. C, 1977, v.15, No 2.
9. Lazarev Yu.A. et al. - Scientific Report, E7-93-57, Dubna, 1993.
10. Гангрский Ю.П. и др. "Регистрация и спектрометрия осколков деления", М.: Энергоиздат, с.203.
11. Bimbot R. et al. - NIM, 1981, В.44 (1).
12. Wilkins B.D. et al. - NIM, 1971, 92, p.381.