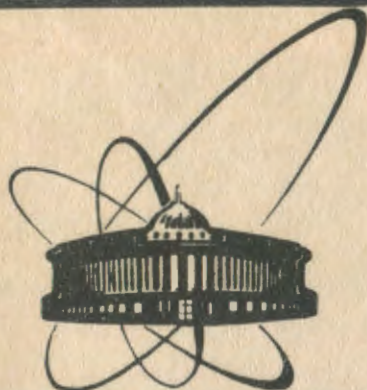


90-112



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

Ц 941

P7-90-112

Ю.С.Цыганов, Рим Юн Сен

О РЕГИСТРАЦИИ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР,
ИМПЛАНТИРОВАННЫХ В КРЕМНИЕВЫЙ
ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЙ ДЕТЕКТОР

1990

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из способов увеличения эффективности регистрации спонтанного деления продуктов полного слияния является помещение полупроводникового детектирующего устройства непосредственно в фокальной плоскости кинематического сепаратора. Обычно применяются либо детекторы большой площади, либо многодетекторные системы. В ЛЯР ОИЯИ данная схема регистрации характерна для сепараторов, описанных в работах^{1,2}. Извлечение количественной информации из спектра спонтанного деления имплантированных ядер затруднено по следующим причинам:

- 1) сравнительно большие значения дефекта амплитуд;
- 2) наличие угловой зависимости рекомбинационной компоненты дефекта;
- 3) индивидуальное поведение каждого детектора по отношению к рекомбинационной компоненте даже при нормальном пересечении ионизирующей частицей поверхности детектора.

Целью данной работы является разработка алгоритма, позволяющего моделировать поведение неравновесной электронно-дырочной плазмы, возникающей в полупроводниковом детекторе при регистрации осколков деления ядер, имплантированных на глубину в несколько микрон, и исследовании динамики поведения спектров спонтанного деления ядер в зависимости от электрофизических параметров полупроводниковых кристаллов.

2. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ МОДЕЛИ

Моделирование спектра распада возможно при условии, что известны константы, определяющие величину рекомбинационного дефекта, его угловую зависимость. Величина столкновительного дефекта может быть рассчитана согласно работе³. Что касается угловой зависимости рекомбинационного дефекта, то она берется согласно эмпирической зависимости из работы⁴. Для учета индивидуальных свойств детектора по отношению к величине рекомбинационного дефекта используется величина скорости поверхностной рекомбинации⁵. Типичные значения

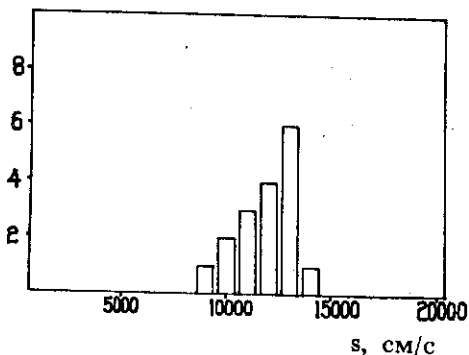


Рис. 1. Типичные значения скорости поверхностной рекомбинации для p-кремниевых детекторов.

скорости поверхностной рекомбинации для p-кремниевых поверхностно-барьерных детекторов приведены на рис. 1.

Для величины относительного рекомбинационного дефекта используется отличное от¹⁵ выражение.

Отличие заключается в наличии дополнительного множителя, учитывающего неоднородность распределения концентрации неравновесных носителей вдоль трека ионизирующей частицы. Для обоснования этого отличия воспользуемся моделью разрушения трека, предложенной в¹⁶. Если n_s — поверхностная концентрация неравновесных носителей, R_s — темп поверхностной рекомбинации, n_L — линейная плотность генерированных носителей, \bar{n}_L — ее среднее по треку значение, $A(t)$ — эффективная площадь поперечного сечения трека в смысле¹⁶, ϵ_0 — энергия на одну пару, то можно записать следующие соотношения:

$$n_s = \frac{1}{\epsilon_0} \left. \frac{\partial E}{\partial x} \right|_{x=0} \cdot \frac{1}{A(t)},$$

$$R_s = s n_s,$$

$$R_s = \frac{\dot{\Delta N}}{A(t)}, \quad \dot{\Delta N} = \frac{s}{\epsilon_0} \left. \frac{\partial E}{\partial x} \right|_{x=0} \cdot \frac{1}{A(t)} \cdot A(t),$$

$$\Delta N = s \int_0^{t_{pl}} n_L dt,$$

$$\Delta N = s t_{pl} n_L |_{x=0},$$

$$\lambda = \frac{\Delta N}{N_0},$$

$$\lambda = \frac{s t_{pl}}{R} \cdot \frac{n_L |_{x=0}}{\bar{n}_L}.$$

Здесь $\partial E/\partial x$ — удельная ионизация, s — скорость поверхностной рекомбинации, N_0 — полное число генерированных носителей, $\Delta N(t)$ — число рекомбинирующих пар. Заметим, что для $n_L/\bar{n}_L = 1$ имеем выражение, тождественное¹⁵, что соответствует однородной генерации. Кроме того, в дальнейшем предполагается, что реальные центры поверхностной рекомбинации располагаются в слое порядка микрона.

3. СХЕМА РАСЧЕТА СПЕКТРА

С учетом принятых предположений система уравнений, моделирующая амплитудный спектр осколков деления ядер, имплантированных в детектор, имеет вид

$$\Delta_{st}^{ij} = \Delta_{st}(\epsilon_1^{ij}) + \Delta_{st}(\epsilon_2^{ij}) - \Delta_{st}(\epsilon_2^{ij} - \epsilon_2'^{ij}) \quad (\text{см. рис. 2}), \quad (1)$$

$$(\Delta_r^\circ)_{ij} = k_1 \Delta_r^\circ(\epsilon_1^{ij} + \epsilon_2'^{ij} - \Delta_{st}^{ij}), \quad (2)$$

$$(\Delta_r)_{ij} = [(\Delta_r^\circ)_{ij} + \Delta_j^\phi] k_{2j}, \quad (3)$$

$$A_{ij} = \epsilon_1^{ij} + \epsilon_2'^{ij} - \Delta_{st}^{ij} - \Delta_r^{ij}, \quad (4)$$

$$k_1 = \frac{n_L|_{x=0}}{\bar{n}_L},$$

$$k_{2j} = 1 - \frac{\Delta t_j}{t_{plj}},$$

$$\Delta_r^\circ(\xi, r) = \frac{s t_{pl}}{r} \xi.$$

В приведенной системе уравнений: t_{pl} — плазменное время согласно¹⁷; Δt_j — время амбиполярной диффузии трека, удаленного от поверхности (см. рис. 2), $\Delta t_j = e^2/2D_a$; Δ_{st} — столкновительный дефект; 1,2 — индексы первого и второго осколков; i — индекс массового числа; j — индекс угла вылета по отношению к нормали поверхности; Δ_r° — рекомбинационный дефект, соответствующий нормальному падению; Δ_r^{ij} — рекомбинационный дефект; $k_{1,2}$ — поправочные коэффициенты, учитывающие текущее значение удельных потерь и удаление трека от поверхности соответственно; D_a — коэффициент амбиполярной диффузии электронно-дырочной плазмы; s, ξ, r — значения скорости поверхностной рекомбинации, текущие значения энергии и пробега.

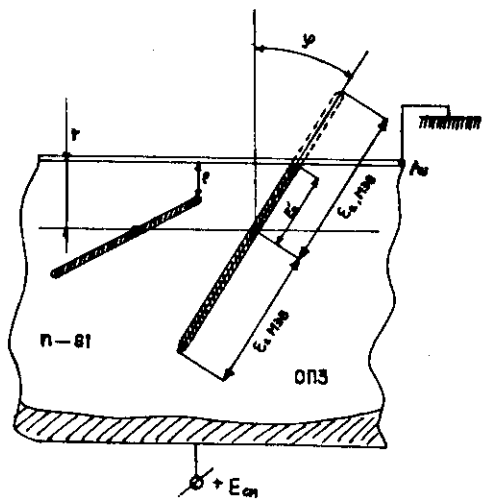


Рис. 2. Возможные варианты расположения треков спонтанного деления ядер по отношению к обедненному слою детектора.

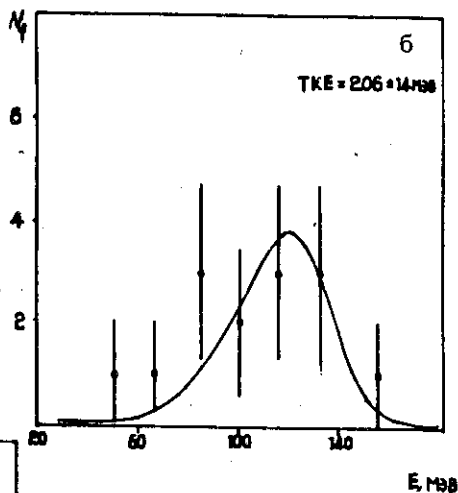
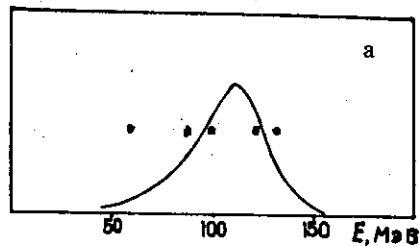


Рис. 3. Спектр спонтанного деления ядер элемента $Z = 102$.

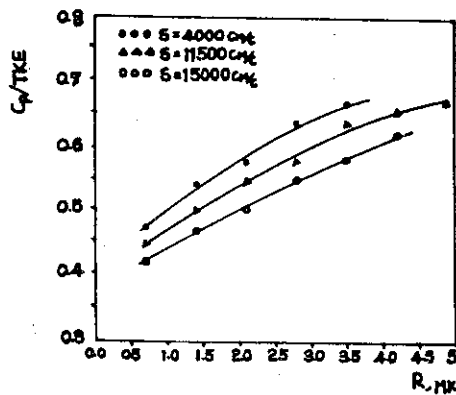


Рис. 4. Систематика первых приближений (C_p — центр тяжести спектра осколков с $E \geq 50$ МэВ).

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА

В качестве примера система (1)–(4) была решена для распада элемента $Z = 102$ из реакций $^{235}\text{U} + ^{22}\text{Ne}$ и $^{236}\text{U} + ^{22}\text{Ne}$, а также $^{232}\text{Th} + ^{26}\text{Mg}$. Дисперсия столкновительного дефекта рассчитывалась согласно¹⁸, дисперсии величин пробегов брались согласно¹⁹, дисперсия удельного сопротивления бралась 25%. Средние значения пробегов соответствовали¹⁰. Результаты моделирования представлены на рис.3а,б. На рис.4 представлена систематика первых приближений величины средней суммарной кинетической энергии для различных значений скорости поверхностной рекомбинации для материала $\rho = 1500$ Ом·см, $V = 100$ В и различных глубин имплантации.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм позволяет в диапазоне средних значений глубин имплантации продуктов полного слияния $1 < r < 5$ мкм получать удовлетворительную оценку для средней суммарной кинетической энергии. Данный алгоритм реализован в виде одной из программ обработки, входящих в состав пакета¹³. Время расчета одного спектра на ПЭВМ типа VT-160 составляет 30 мин.

Авторы считают приятным долгом поблагодарить профессора Ю.Ц.Оганесяна за постоянный интерес к проблеме регистрации продуктов ядерных реакций, получаемых на кинематических сепараторах, А.А.Ледовского за помощь в написании отдельных фрагментов программы, А.Г.Попеко и В.Ф.Кушнирука за ценные замечания, А.В.Еремина, Д.Д.Богданова и В.И.Чепигина, любезно предоставивших данные о распаде элемента $Z = 102$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганесян Ю.Ц. и др. — В сб.: "Международная школа-семинар по физике тяжелых ионов", ОИЯИ, Д7-89-531, Дубна, 1989, с.145.
2. Андреев А.Н. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ № 3(29)-88, Дубна, 1988.
3. Wilkins B.D. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1971, 92, p.381.
4. Кушнирук В.Ф., Харитонов Ю.П. — Сообщения ОИЯИ 13-11889, Дубна, 1976.
5. Кушнирук В.Ф. — Сообщения ОИЯИ 13-11889, Дубна 1978.
6. Seibt W. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1973, 113, p.317.
7. Haines E.L., Whitehead A.B. — The Rev. of Scient. Instr. 1966, Vol.3, No.2, p.190.

8. Лобанов Ю.В. и др. — Препринт ОИЯИ Р7-83-66, Дубна, 1983.
9. Northclife L.C., Schilling R.E. — Nucl. Data Tables, 1970, A7, No.3-4.
10. Жучко В.Е., Цыганов Ю.С. — Сообщения ОИЯИ Р7-89-451, Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 февраля 1990 года.