

Пороговые чувствительности (анализ по высоте ступеньки на кривой выхода)

Элемент	Состав образца	Энергия протонов, кэВ		Энергия γ -квантов	Доза облучения, мкК	Пороговая чувствительность, %	Пороговая чувствительность при дозе облучения 10^5 мкК
		E_{p1}	E_{p2}				
B	$B_2O_3 + Li_2O$	500	900	9,5—12,3	1000	0,15	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Li	$Li_2O + B_2O_3$	300	500	16,5—20,0	1000	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Li	$Li_2O + SiO_2$	300	500	14,0—20,0	1000	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$

облучения образца полупроводникового кремния на кривой распада можно четко выделить участок, который характеризует наличие изотопа F^{18} . Однако, как показали исследования, при снятии поверхностного слоя толщиной ~ 10 мкм после облучения образца активность, обусловленная F^{18} , в кремниевой матрице не наблюдается. Это указывает на значительное загрязнение поверхностного слоя кремния кислородом. Поэтому перед измерением активности образца необходимо удалять поверхностный слой.

В качестве эталонов использовались образцы кремния с содержанием бора 10^{18} — 10^{19} атом/см³. Время облучения образца и эталона было выбрано равным 20 мин, время охлаждения — 40 мин, время счета наведенной активности — 40 мин. Пороговая чувствительность определения бора составила $10^{-6}\%$.

Определение кислорода проводилось по изотопу F^{18} с периодом полураспада 110 мин, образующемуся по реакциям $O^{16}(\alpha, d)F^{18}$ и $O^{16}(\alpha, pn)F^{18}$ с порогами 20,4 и 23,2 МэВ соответственно [4,5]. При энергии α -частиц 25 МэВ на ядрах атомов примесей осуществляются реакции $B^{10}(\alpha, n)N^{13}$, $C^{12}(\alpha, n)O^{15}$ и $N^{14}(\alpha, n)F^{17}$. Позитронноактивные ядра N^{13} , O^{15} и F^{17} имеют периоды полураспада 10,1; 2 и 1,1 мин соответственно. При охлаждении образца в течение 40 мин в случае отсутствия бора в нем вся активность будет обусловлена F^{18} . Анализ распределения кислорода по глубине образца показал, что в слое толщиной ~ 10 мкм содержание кислорода на порядок выше, чем в матрице. Как и в случае определения бора, с поверхности образца перед измерением удалялся слой толщиной 10 мкм.

В качестве эталона использовали оптический кварц. Время облучения образца составляло 110 мин, время счета наведенной активности — 110 мин. Чувствительность определения кислорода была равна $5 \cdot 10^{-6}\%$. При наличии в кремнии бора измерение активности образца производилось через 2 ч после облучения. Чувствительность определения кислорода в этом случае составляла $10^{-5}\%$. Воспроизводимость результатов при повторных измерениях была не хуже 20%.

Под действием протонов с энергией ~ 1 МэВ на ядрах легких элементов происходят реакции (p, γ) и $(p, \alpha\gamma)$, которые имеют ярко выраженный резонансный характер, что значительно облегчает возможность их селективного определения. По выходу γ -излучения этих реакций производилось определение лития [6], бериллия, бора [7], фтора и других элементов. Пороговые чувствительности при дозе облучения (общая сумма зарядов протонов, бомбардирующих мишень) порядка 10^3 мкК составляет $n(10^{-2}—10^{-5})\%$.

Легкие элементы можно селективно определять по высоте резонансных ступенек, которые наблюдаются в ходе функций возбуждения. Высота ступенек пропорциональна концентрации анализируемого элемента. Таким образом, облучая пробу протонами с энергией ниже и выше одного из конкретных резонансов данного элемента, можно получить информацию о его количественном содержании. Данный способ анализа был применен для определения содержания лития и бора. Чувствительности определения приведены в таблице.

Поступило в Редакцию 6/IV 1970 г.
В окончательной редакции 4/V 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. П. Калинин, А. А. Оглоблин, Ю. М. Петров. «Атомная энергия», 2, 171 (1957).
2. H. Rommel. *Analyt. chim. acta*, 34, 427 (1966).
3. C. Engelmann, G. Cabane. *International conference, Modern trends in activation analysis*. USA, Texas, College Station, 331 (1965).
4. T. Nozaki et al. *Nature*, 190, 4770, 45 (1961).
5. K. Saito et al. *Int. J. Appl. Rad. and Isotopes*, 14, 357 (1963).
6. С. С. Васильев и др. «Атомная энергия», 25, 328 (1968).
7. С. С. Васильев и др. «Заводск. лаборатория», № 3, 299 (1969).

Получение интенсивных потоков нейтронов больших энергий на циклотроне при бомбардировке толстых мишеней из лития и бериллия дейтонами с энергией 22 МэВ

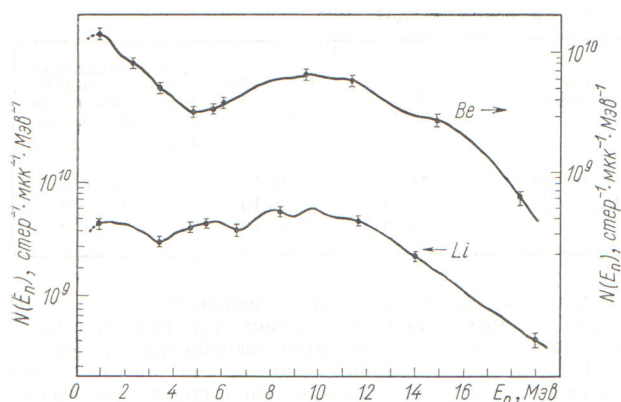
В. К. ДАРУГА, Н. Н. КРАСНОВ

УДК 621.384.633

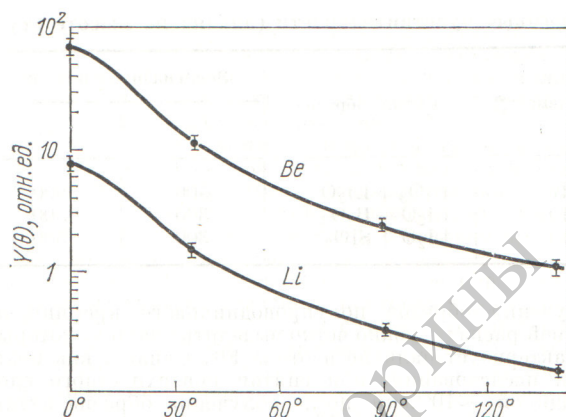
В работе [1] приведены данные о выходе, энергетическом и угловом распределениях нейтронов при реакции $Li + d$. Показано, что бомбардировка дейтонами толстой мишени из вещества с малым z дает достаточно интенсивный поток нейтронов с энергией

10 МэВ и выше, пригодный для решения некоторых практических задач нейтронной физики и техники.

При обработке результатов в работе [1] была использована характеристика детектора $ZnS(Ag) +$ флюоресцентного вещества. Последующая проверка



Р и с. 1. Спектры нейтронов из литиевых и бериллиевых мишеней.



Р и с. 2. Угловое распределение нейтронов литиевых и бериллиевых мишеней.

показала, что эта характеристика не подходит для используемой нами таблетки — сцинтиллятора ZnS(Ag) + плексиглас стандартного типа Б-2. Уточнение данных работы [1], проведенное с учетом истинной характеристики этого порогового детектора, показало, что средний эффективный порог его равен

выходов нейтронов разных энергетических групп приведены в таблице. Пороговый детектор ZnS(Ag) + плексиглас был использован для измерения отношения выходов $Y(0^\circ)/Y(90^\circ)$ нейтронов с энергией $E_n > 1,8$ Мэв (см. таблицу) и оценки углового распределения для $E_n > 4$ Мэв (рис. 2).

Выход нейтронов, нейтр/стер·мкк (при $\theta = 0^\circ$)

Мишень	$E_n > 0$	$E_n > 4$ Мэв	$E_n > 10$ Мэв	$E_n > 14$ Мэв	$\bar{E}_n$, Мэв	$\frac{Y(0^\circ)}{Y(90^\circ)}$
Li	$7,3 \cdot 10^{10} \pm 8\%$	$5,7 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{10}$	$0,9 \cdot 10^{10}$	9,1	11
Be	$9,1 \cdot 10^{10} \pm 8\%$	$5,5 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{10}$	$0,8 \cdot 10^{10}$	7,3	12
Nb	$1,0 \cdot 10^{10} \pm 10\%$	—	—	—	—	5
U	$8,4 \cdot 10^9 \pm 8,5\%$	—	—	—	—	4

~ 1,8 Мэв и все абсолютные выходы, приведенные в работе [1], должны быть увеличены в 1,25 раза.

В настоящей работе выполнены измерения абсолютного выхода нейтронов всех энергий в направлении $\theta = 0^\circ$ (относительно бомбардирующего пучка дейтронов) из толстых литиевых, бериллиевых, ниобиевых и урановых мишеней при помощи «всеголовного» детектора с BF₃-счетчиком типа СНМ-5 (см. таблицу). Энергия дейтронов равна 22 ± 1 Мэв.

Как и в работе [1], был использован стильбеновый сцинтилляционный спектрометр для измерения спектров (под углом $\theta = 0^\circ$) нейтронов из литиевых и бериллиевых мишеней (рис. 1). Точность нормировки спектра не хуже $\pm 15\%$. Средние энергии спектров и оценки

Авторы выражают искреннюю благодарность В. А. Дулину, Е. С. Матусевичу, Н. Н. Пальчикову за помощь в работе, А. Е. Романченко и А. А. Огневу за подготовку циклотрона к эксперименту.

Поступило в Редакцию 6/IV 1970 г

ЛИТЕРАТУРА

- В. К. Даруга и др. «Атомная энергия», 24, 66 (1968).
- С. Ф. Дегтярев и др. «Бюллетень Информационного центра по ядерным данным». Вып. 3. М., Атомиздат, 1966, стр. 459.