

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННЫХ ЧАСТИЦ И ЭНЕРГИИ ПО ГЛУБИНЕ ПОГЛОТИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТА-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

В исследовании прохождения бета-частиц через вещество основное внимание уделялось взаимодействию моноэнергетических электронов и позитронов с веществом; при использовании электронов и позитронов ядерного происхождения экспериментальные результаты относятся главным образом к измерению зависимости числа бета-частиц, прошедших слой поглотителя, от толщины поглотителя [1]. В то же время бета-излучатели широко используются в лучевой терапии, радиационном металлосведении, при изучении электронной структуры вещества. В этих случаях необходимо знать распределение числа поглощенных частиц и энергии по глубине поглотителя. В последнее время изучение энергетических спектров бета-частиц при прохождении через поглотитель позволило обнаружить ряд особенностей [2, 3]. Экспериментальные результаты об энергетических распределениях поглощенной энергии по глубине поглотителя отсутствуют [4]. В данной работе предложен метод и проведено измерение энергетических распределений потерь электронов и позитронов в слоях бериллия, никеля и слюды в функции толщины поглотителя.

Блок-схема установки изображена на рис. 1. В качестве источника β^- -частиц использовался ^{204}Tl с граничной энергией 760 кэВ и активностью $3,7 \cdot 10^5$ Бк, а источника β^+ -частиц — ^{22}Na с граничной энергией 540 кэВ и активностью $7,4 \cdot 10^4$ Бк. Поглотителями служили наборы фольги бериллия, никеля и слюды. Удельная плотность поглотителей определялась путем взвешивания каждого поглотителя на аналитических весах ВЛА-200Г-М и определения площади. Базовые поглотители из слюды, никеля и бериллия имели удельную плотность 7,1, 5,5, 11,0 мг/см² соответственно. Для измерения энергетических распределений потерь применялась следующая методика: для фиксированной толщины наращиваемого поглотителя x_n осуществляется набор амплитудного распределения выходных импульсов, которое хранится в памяти анализатора, а затем добавляется базовый поглотитель Δx и в режиме вычитания амплитудного анализатора снова выполняется набор амплитудного распределения; результат, представляющий разность двух амплитудных распределений, выводится на цифropечать. Эта процедура повторялась для новой толщины наращиваемого поглотителя x_{n+1} . Время набора варьировалось в зависимости от толщины поглотителя от 1 до 8 мин. Калибровка спектрометра (перевод шкалы амплитуд в шкалу энергий) осуществлялась по краю комптоновского распределения, создаваемого гамма-квантами известной энергии. Совокупность распределений, измеренных для разных толщин поглотителя, позволяет построить зависимость числа поглощенных частиц и поглощенной энергии по глубине поглотителя. Кроме того, используя такие характеристики энергетических распределений, как наиболее вероятная энергия E_w , ширина распределения на полувысоте ΔE , отношение $\Delta E/E_w$, можно проследить ход этих параметров по глубине поглотителя. На рис. 2 в качестве примера приведена гистограмма рас-

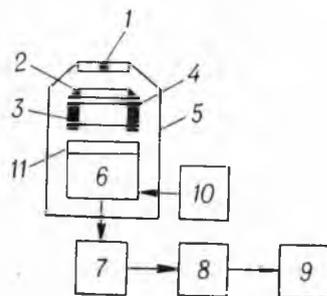


Рис. 1. Блок-схема установки:

1 — бета-источник; 2 — наращиваемый поглотитель; 3 — базовый поглотитель; 4 — пластмассовый держатель; 5 — светозащитный кожух; 6 — фотоэлектронный умножитель; 7 — усилитель БУС2-47; 8 — многоканальный амплитудный анализатор АИ-256-6; 9 — цифropечать БЗ-15-1М; 10 — высоковольтный источник питания ВСВ-1; 11 — органический сцинтиллятор

на амплитудного анализатора снова выполняется набор амплитудного распределения; результат, представляющий разность двух амплитудных распределений, выводится на цифropечать. Эта процедура повторялась для новой толщины наращиваемого поглотителя x_{n+1} . Время набора варьировалось в зависимости от толщины поглотителя от 1 до 8 мин. Калибровка спектрометра (перевод шкалы амплитуд в шкалу энергий) осуществлялась по краю комптоновского распределения, создаваемого гамма-квантами известной энергии. Совокупность распределений, измеренных для разных толщин поглотителя, позволяет построить зависимость числа поглощенных частиц и поглощенной энергии по глубине поглотителя. Кроме того, используя такие характеристики энергетических распределений, как наиболее вероятная энергия E_w , ширина распределения на полувысоте ΔE , отношение $\Delta E/E_w$, можно проследить ход этих параметров по глубине поглотителя. На рис. 2 в качестве примера приведена гистограмма рас-

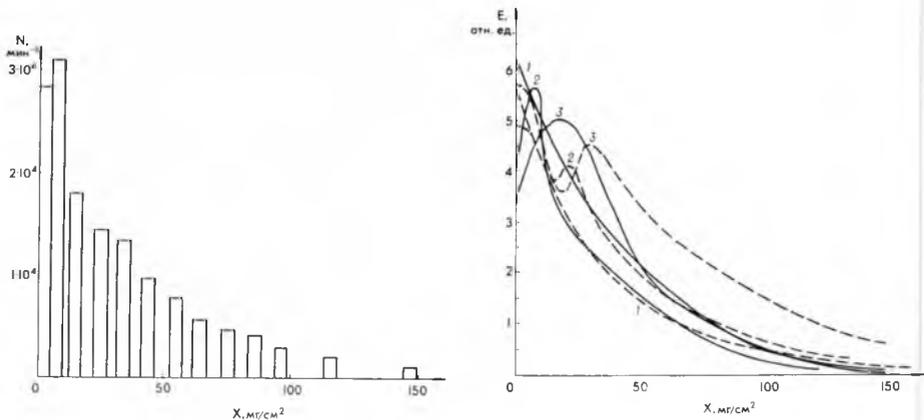


Рис. 2. Гистограмма поглощенных позитронов в никеле в зависимости от толщины поглотителя

Рис. 3. Распределение поглощенной энергии по глубине поглотителя:

1 — слюда; 2 — никель; 3 — бериллий; сплошные линии — позитроны; пунктирные — электроны

пределения числа поглощенных позитронов по глубине никелевого поглотителя. На рис. 3 изображены глубинные распределения поглощенной энергии для электронов и позитронов и трех сортов поглотителей. Кривые распределения поглощенной энергии можно сопоставить с результатами расчетов для позитронов ^{22}Na [4]. Для позитронов и поглотителей из бериллия и никеля наблюдается качественное согласие расчетных и экспериментальных зависимостей: кривые распределения имеют максимум, положение максимума с ростом атомного номера поглотителя сдвигается в сторону меньшей толщины поглотителя, ширина распределения больше для легких поглотителей (эти свойства объясняются различным вкладом процессов ионизационных потерь и многократного рассеяния для веществ с разным порядковым номером [4]). Для электронов и тех же поглотителей наблюдается аналогичная тенденция (см. рис. 3), но кривые распределения имеют подъем в поверхностном слое поглотителей. Это, скорее всего, связано с различием в источниках электронов и позитронов: ^{204}Tl нанесен на алюминиевую подложку, и бета-спектр искажен вкладом обратно рассеянных от подложки электронов, ^{22}Na представляет тип ОСГИ, и обратное рассеяние отсутствует. Для слюды отмечается монотонный спад поглощенной энергии по глубине поглотителя; причина такого поведения не ясна. Количественное согласие расчетных и экспериментальных данных отсутствует, например, для позитронов ^{22}Na и бериллиевого поглотителя максимум поглощенной энергии по расчетам приходится на глубину поглотителя 67 мг/см^2 [4], у экспериментального распределения — 17 мг/см^2 (см. рис. 3).

Различие формы кривых распределения поглощенной энергии и поглощенных частиц не превышает 5%. Наиболее вероятная энергия с ростом толщины поглотителя смещается в сторону больших энергий, относительная ширина кривых энергетических распределений уменьшается с ростом толщины поглотителя.

Таким образом, предложенная методика позволяет измерять распределение поглощенных частиц и энергии по глубине поглотителя, а также изменение параметров энергетических распределений с ростом толщины поглотителя. Экспериментальные результаты для глубинных распределений поглощенной энергии в бериллии и никеле качественно согласуются с теоретическими расчетами.

Список литературы

1. Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия / Под ред. К. Зигбана. М., 1969. Т. 3.
2. Ли Мунгир Ульпе Л. Р. // Расширенные тез. докл. VIII Всесоюз. конферец. по локальным рентгеноспектральным исследованиям и их применению (21—23 09.82.). Черногловка, 1982. С. 122.
3. Перцев А. Н., Ходасевич В. В., Касько И. В., Ермолкевич Е. Э. // Изв. АН БССР. Сер. физ.-энерг. наук. 1984. № 2. С. 29.
4. Воробьев С. А. Прохождение бета-частиц через кристаллы. М., 1975.

Поступила в редакцию 20.01.86.

УДК 621.315.592

Д. И. БРИНКЕВИЧ, Н. И. ГОРБАЧЕВА,
В. В. ПЕТРОВ, В. С. ПРОСОЛОВИЧ, Б. М. ТУРОВСКИЙ

ТЕРМИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ В КРЕМНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ ГЕРМАНИЕМ

Легирование кремния изовалентными примесями (ИВП), в частности германием, весьма перспективно для целенаправленного управления свойствами кристаллов, чувствительными к присутствию структурных нарушений. Введение ИВП может привести к изменению ансамбля точечных центров и к возникновению в решетке полей упругих напряжений, неоднородность которых существенно влияет на диффузию дефектов и примесей [1, 2]. Эти обстоятельства могут сказываться на преципитации кислорода (ПК) и генерации термодоноров (ТД) при 823—1173 К. Целью настоящей работы явилось изучение данных процессов в $\text{Si} \langle \text{Ge} \rangle$.

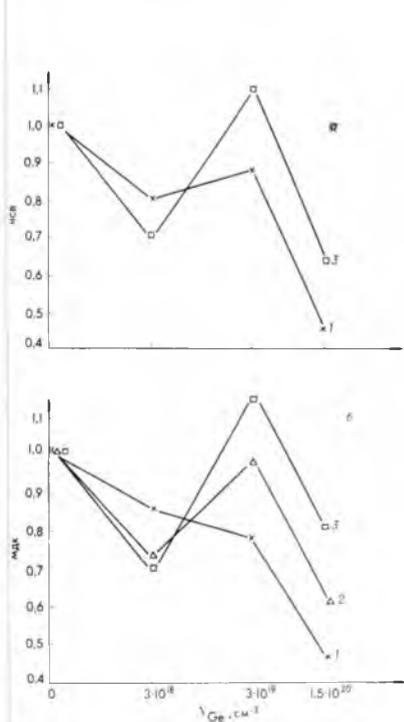


Рис. 1. Зависимости НСВ (а) и МДК (б), нормированные на их значения в контрольном материале, от концентрации германия. Температура отжига и длительность ПТО:

1 — 923 К, 120 ч; 2 — 1073 К, 175 ч;
3 — 1073 К, 350 ч

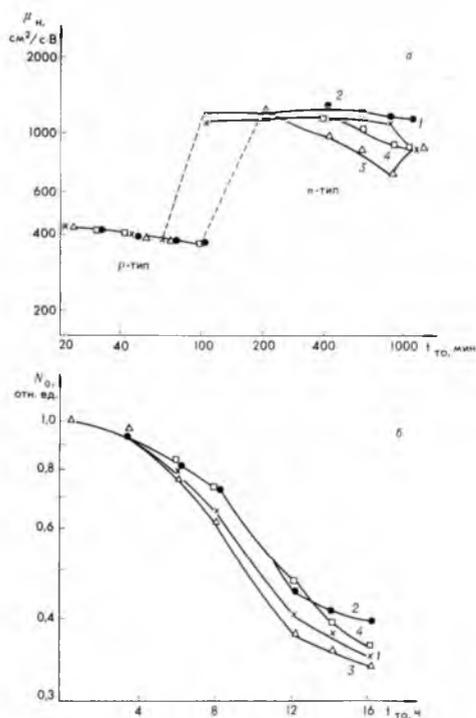


Рис. 2. Изменение μ_n (а) и концентрации междуузельного кислорода (б) в ходе отжига при 1073 К, $t_{\text{ПТО}} = 350$ ч. Номера кривых соответствуют номерам образцов