

НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ КРЕМНИИ

Кабанов Д.В., Меркулов В.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kabanovdv@tpu.ru

Кремний – один из основных материалов современной микро- и фотоэлектроники. Успешное развитие методов получения и очистки кремния, создание новых материалов и приборов на их основе невозможно без опережающего развития методов характеристики их химического состава. Качество функциональных материалов на основе кремния определяется их примесным составом, однако, влияние отдельных элементов на целевые свойства однозначно не выяснено, поэтому важно иметь наиболее полную и достоверную информацию о количественном составе примесных элементов, как в исходном сырье, так и конечной продукции.

В связи с этим целью данной работы являлось определение примесных элементов в полупроводниковом кремнии различных производителей методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), обеспечивающего необходимые пределы обнаружения ($10^{-10} - 10^{-12} \%$). Схема анализа состоит в упаковке подготовленных и очищенных образцов кремния массой от 1 до 5 г, совместно с эталонами, в кварцевые ампулы и облучению их в потоке тепловых нейтронов $0,5-1,0 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²·сек в течение 50-100 часов. После «охлаждения» ампулы вскрывались, а объекты анализа травили в смеси HF:HNO₃:CH₃COOH в соотношении 3:5:3 для удаления поверхностных загрязнений, далее промывались ацетоном и водой и повторно взвешивались. Далее образцы кремния и эталоны измеряли на полупроводниковом ОЧГ детекторе (Canberra) и проводили расчет концентраций зарегистрированных микропримесных элементов.

В соответствии с рекомендациям ГОСТа предлагается использовать синтетические эталоны, приготовленные путем нанесения на фильтровальную бумагу известных количеств определяемых элементов, что требует (помимо возможной ошибки при нанесении) введения поправки на «холостой» опыт. В связи с этим нами предложено использование международных стандартных образцов для активационного анализа, которые после облучения подвергались химической обработке с целью перевода их в раствор и последующего разведения до необходимых уровней аналитических концентраций. Данная операция позволяет также избежать необходимости введения поправочных коэффициентов, обусловленных различиями в геометрических размерах анализируемых образцов и образцов сравнения, поскольку аликвотные части могут быть взяты в любых объемах.

С использованием данной методики нами был проведен анализ образцов кремния, полученных на различных предприятиях. В таблице 1 приведены средние значения концентраций.

Таблица 1.

Содержание некоторых примесных элементов в пробах кремния различных производителей, ppb

Элемент	ООО КЕПП-Сервис	ИФП СО РАН	GT SM Co.Ltd, КНР
As	$< 3,0 \cdot 10^{-1}$	$< 5,0 \cdot 10^{-2}$	$< 5,0 \cdot 10^{-3}$
Sb	$4,86 \cdot 10^{-1}$	$2,58 \cdot 10^{-1}$	$3,30 \cdot 10^{-1}$
Fe	15,5	3,18	2,55
Sc	$1,01 \cdot 10^{-1}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$1,66 \cdot 10^{-3}$
Cr	$6,53 \cdot 10^{-1}$	$1,20 \cdot 10^{-1}$	$2,54 \cdot 10^{-1}$
Co	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$1,16 \cdot 10^{-1}$	$4,09 \cdot 10^{-3}$

Таким образом, наличие в едином комплексе ядерного реактора, аттестованных гамма-спектрометрических установок на базе ППД высокого разрешения и стандартных образцов позволяет получать количественные данные о примесном составе с высоким запасом точности не только при анализе полупроводникового кремния, но и других современных высокочистых материалов и композитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 26239.5-84 Кремний полупроводниковый и кварц. Метод определения примесей (Изменение №1 к ГОСТ 26239.5-84 введено с 01.01.1991)