

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИИ И РАСТВОРИМОСТИ РОДИЯ В КРЕМНИИ

Рафиков А.К., Ташметов М.Ю., Махкамов Ш., Махмудов Ш.А., Сулайманов Н.Т., Сулаймонов А.А.

Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан

В этой работе рассматривается спектр рентгеновской флуоресценции и диффузионные параметры родия в кремнии. В качестве исходного материала использовались монокристаллы кремния КЭФ 1÷15 Ом·см и КДБ 5÷10 Ом·см. Родий чистоты 99,99% вводился в кремний методом термодиффузии в интервале температур 1300÷1570 К в течение 4÷15 часов в кварцевых ампулах, в режимах последующего охлаждения: быстро 250оС/мин. и медленно 5оС/мин. Спектр рентгеновской флуоресценции кремния, легированного родием, представлен на рис. 1, где вместе с пиком родия можно увидеть нескольких дополнительных откликов технически неконтролируемых примесей (Fe, Ca, S, F).

а) б)

Рис. 1. Рентгенофлуоресцентный спектральный анализ кремня, легированного родием: а) медленно охлажденный n-Si<Rh>, б) быстро охлажденный n-Si<Rh>.

Результаты измерений показывают, что концентрация родия в кремнии зависит от времени диффузионного отжига ( $T=1500$  К). Эксперименты также показывают температурную зависимость коэффициента диффузии родия в кремнии ( $\Delta E=1.23$  эВ,  $D_0=4\cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/с). Как видно из рисунка спектр родия зависит от скорости охлаждения после диффузии, и установлено, что пик родия в быстроохлажденном кремнии в 1,7 раза больше, чем в медленно охлажденном кремнии. Диффузионные параметры и растворимость родия в кремнии исследовались нейтронно-активационным и электрофизическими методами по времени насыщения и диффузионному профилю. При исследовании растворимости после термодиффузии со всех сторон удаляется приповерхностный слой  $\approx 60$  мкм. После электрических измерений образцы подвергались нейтронно-активационному анализу для определения содержания родия стандартной методикой по изотопу Rh102.

Измерения показали, что родий в кремнии распределяется по объему практически равномерно, за исключением приповерхностного участка (до 80 мкм), характеризующегося резким падением концентрации. С увеличением длительности диффузионного отжига и температуры характер распределения в приповерхностной области не изменяется, в то время как в объеме происходит постепенный подъем уровня концентрации. Аналогичное явление наблюдалось и для некоторых других быстро-диффундирующих примесей (Au, Co) в кремнии. Подъем уровня насыщения со временем отжига, по-видимому, обусловлен сложным диссоциативным механизмом диффузии родия в кремнии – быстрой миграцией по междоузлиям и медленной по вакантным узлам кристаллической решетки кремния с взаимными переходами из одного состояния в другое до тех пор, пока концентрация атомов родия в узлах и междоузлиях не достигнет своего равновесного значения для данной температуры. После этого концентрация родия в объеме остается постоянной. Такое значение уровня концентрации примеси, которое при дальнейшем отжиге остается постоянным, и принималось нами за растворимость родия при соответствующей температуре.

В интервале температур 1200÷1570 К коэффициент диффузии, определенный по времени насыщения образца родием и концентрационному распределению при малых временах отжига (15 мин.), изменяется в пределах  $1,8\cdot 10^{-7}$ – $3\cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с. Температурная зависимость коэффициента диффузии имеет экспоненциальный характер и может быть выражена соотношением формулу  $D=4.2\cdot 10^{-2} \exp(-1.3\pm 0.1/kt)$  см<sup>2</sup>/с.

Температурная зависимость растворимости родия в кремнии показывает значение растворимости в исследованном интервале температур от  $1\cdot 10^{15}$  до  $9\cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup> и описывается выражением  $N=4\cdot 10^{23} \exp(-2.2\pm 0.1/kT)$  см<sup>-3</sup>.

Концентрация электрически активных атомов родия в кремнии оказалась примерно на 1,4 порядка ниже, чем общая концентрация растворенных атомов. Такое различие, видимо, обусловлено тем, что значительная часть атомов родия секретируется на дислокациях, как это имеет место, например, для кобальта в кремнии.

### Section

Energy and materials science (Section 2)

**Primary authors:** RAFIKOV, Avaz (Master, Reasercher); Dr MAXMUDOV, Sherzod (Senior researcher)

**Presenter:** RAFIKOV, Avaz (Master, Reasercher)

**Track Classification:** The V International Scientific Forum “Nuclear Science and Technologies”: Energy and materials science (Section 2)