

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ДИФФУЗИЮ ИМПЛАНТИРОВАННОГО МЫШЬЯКА В КРЕМНИИ

Оскар Хосе Араика Ривера, М. Джадан, А.Р. Челябинский
Белгосуниверситет, Минск, пр.Ф. Скорины, 4. e-mail: chelyadinski@bsu.by

Исследована диффузия имплантированного As в слоях кремния с различным содержанием радиационных дефектов, концентрация которых варьировалась дополнительным внедрением ионов Si. Наблюдаемое уменьшение коэффициента диффузии As связывается с захватом примеси на избыточные вакансии как на ловушки. При концентрациях дефектов намного выше концентрации примеси коэффициент ее диффузии увеличивается, но остается существенно ниже собственного значения.

Введение

При имплантации тяжелых ионов As в кремний с энергиями около ста кэВ при дозах порядка 10^{14} см⁻² слой является аморфным. При последующей термообработке диффузионное перераспределение примеси идет параллельно с процессом рекристаллизации. В силу этого вопрос воздействия радиационных дефектов на диффузию мышьяка остается не решенным. Между тем, в случае высоких энергий (единицы, десятки МэВ) когда трек иона не является аморфным, этот вопрос представляет практический интерес. С другой стороны, создание высоких концентраций дефектов вакансионного и междоузельного типа может дать дополнительную информацию о механизмах диффузии примеси. В данной работе с целью изучения влияния радиационных дефектов на диффузию мышьяка предварительно создавались слои кремния, легированные этой примесью, а затем эти структуры облучались ионами Si различными дозами ($6 \cdot 10^{13}$ – $4 \cdot 10^{14}$ см⁻²).

Порядок проведения эксперимента

Профили диффузии определялись из измерений слоевой концентрации носителей заряда при контролируемом удалении слоев кремния. Измерения эффекта Холла и проводимости выполнялись в конфигурации Ван-дер-Пау. Исследовались образцы кремния, имплантированные ионами As с энергией 250 кэВ дозой $1 \cdot 10^{17}$ см⁻². Затем образцы отжигались при температуре 1070 °С в атмосфере азота для рекристаллизации аморфного слоя. Слои, легированные мышьяком, облучались ионами Si дозами $6 \cdot 10^{13}$ – $4 \cdot 10^{14}$ см⁻². Диффузия проводилась при температуре 1070 °С в течение 15 минут. Концентрации радиационных дефектов в имплантированном слое определялись рентгенодифракционным методом по величине изменения периода решетки в слое и исходя из величины смещения атомов в первой координационной сфере дефекта в 0,02 нм.

Результаты и обсуждение

Профили диффузии показаны на рис.1. Положение максимума распределения примеси в контрольном образце соответствует расчетному значению проецированного пробега [1], но оно несколько уширено по сравнению с профилем внедрения. При расчетах коэффициента диффузии учитывались экспериментальные значения ΔR_p . Как видно из рис.1, с увеличением концентрации радиационных дефектов в имплантированных

слоях диффузия мышьяка замедляется. Рассчитанные коэффициенты диффузии D , концентрации радиационных дефектов в слое кремния C_{rd} для каждой дозы ионов Φ кремния приведены в таблице. Коэффициент диффузии для контрольного образца составляет $3 \cdot 10^{-14}$ см²с⁻¹, что соответствует собственному значению. С ростом концентрации дефектов коэффициент диффузии уменьшается до $7 \cdot 10^{-15}$ см²с⁻¹. При дальнейшем увеличении концентрации дефектов коэффициент диффузии мышьяка возрастает до значения $1,5 \cdot 10^{-14}$ см²с⁻¹.

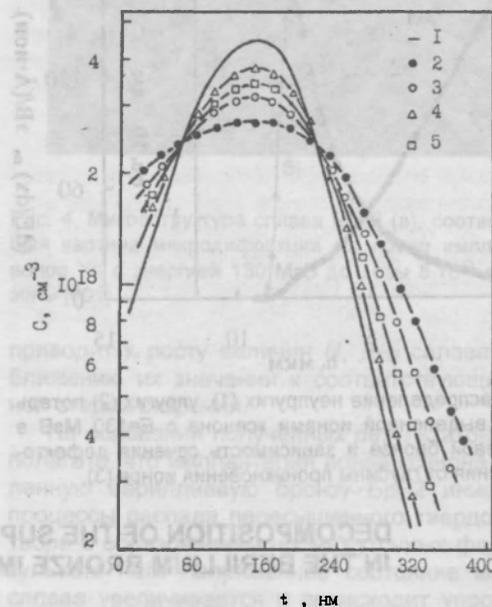


Рис. 1 Профили распределения мышьяка в имплантированном кремнии после отжига:
E – 250 кэВ, $\Phi_{As} = 1 \cdot 10^{14}$ см⁻², 1070 °С.
1 – исх. Φ_{Si} : 2 – 0; 3 – $6 \cdot 10^{13}$; 4 – $1 \cdot 10^{14}$; 5 – $2 \cdot 10^{14}$ см⁻²

Наблюдаемые закономерности в диффузии мышьяка в имплантированном кремнии в присутствии радиационных дефектов объясняются в предположении следующего механизма его диффузии. Мышьяк в кремнии диффундирует по двум каналам – по вакансионному и междоузельному. При этом скорость диффузии по междоузельным выше, чем по вакансиям. При имплантации ионов Si вводятся одновременно в соизмеримых концентрациях устойчивые комплексы как вакансионного, так и междоузельного типа [2].

Таблица
Зависимость коэффициента диффузии мышьяка в кремнии от концентрации радиационных дефектов

$\Phi_{Si}, \text{см}^{-2}$	0	$6 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{14}$
$C_{рД}, \text{см}^{-3}$	0	$6 \cdot 10^{19}$	$1 \cdot 10^{20}$	$1,8 \cdot 10^{20}$
$D, \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-14}$	$7 \cdot 10^{-15}$	$1,5 \cdot 10^{-14}$

Как установлено в работе [3], образующиеся в процессе термообработки междоузельные атомы Si при распаде устойчивых комплексов не вытесняют атомы мышьяка из узлов в междоузлия (эффект Воткинса отсутствует). Поэтому избыточные атомы Si не должны влиять на перераспределение атомов мышьяка по двум каналам диффузии. Захват атомов мышьяка на избыточные вакансии приводит соответственно к уменьшению его доли в междоузлиях, т.е. в более "быстром" канале диффузии. В результате коэффициент диффузии понижается. При больших концентрациях радиационных дефектов ($\Phi_{Si} = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$), когда концентрация вакансий намного больше концентрации примеси, атомы мышьяка могут мигрировать по избыточным вакансиям, и коэффициент диффузии несколько увеличивается. Однако он остается меньше собственного значения. Полученные экспериментальные результаты и предлагаемый механизм диффузии мышьяка согласуется с имеющимися данными [4]. В этой работе наблюдалась ускоренная диффузия мышьяка при термическом окислении поверхности кремния, когда генерировались избыточные

междоузельные атомы Si. Подтверждением двух поточного механизма диффузии мышьяка являются также экспериментальные данные [5]. В этой работе наблюдалось замедление диффузии мышьяка при создании на поверхности кремния нитридных покрытий, когда генерируются избыточные вакансии.

Заключение

Установлено, что радиационные дефекты в имплантированном кремнии замедляют диффузию мышьяка. Это обусловлено захватом атомов примеси на вакансии как на ловушки. При значительном превышении концентрации дефектов концентрации примеси коэффициент диффузии несколько увеличивается вследствие диффузии по избыточным вакансиям, но остается ниже собственного значения. Результаты свидетельствуют в пользу двухпоточной диффузии мышьяка в кремнии, при этом скорость диффузии по междоузлиям выше скорости диффузии по вакансиям.

Список литературы

1. Буренков А.Ф., Комаров Ф.Ф., Кумахов Б.А., Темкин М.М. / Таблицы параметров пространственного распределения ионно-имплантированных примесей. Минск. Из-о БГУ. 1980. 350 с.
2. Berezhnov N.I., Stelmakh V.F., Chelyadinskii A.R. // Phys.Stat.Sol. a. 1983. V.78. №2. P. 121.
3. Berezhnov N.I., Chelyadinskii A.R., Jadan M., Suprun-Belevich Yu.R. // Nucl. Instr. Meth. – 1993. В 73. №3. P.357.
4. Antoniadis D.A., Moskovitz H. // j.Appl.Phys. – 1982. V.53. № 10. P. 6788.
5. Fahey P., Dutton R.W. / Semicond. Silicon. – 1986. V.86. № 4. P.571.

INFLUENCE OF RADIATION DEFECTS ON DIFFUSION OF IMPLANTED ARSENIC IN SILICON

Oskar Khoce Araika Rivera, M. Jadan, A.R. Chelyadinskii.

Belarus State University, Minsk, 220030. F. Skaryna Ave. 4. Belarus. E-mail: chelyadinski@bsu.by

Diffusion of ion-implanted As in Si layers with different concentrations of radiation defects was investigated. The radiation defects concentration was varied by additional irradiation with Si ions. The retarded As diffusion is determined by the capture of As atoms on the vacancies. At the defects concentrations higher than impurity concentration the diffusion coefficient rises but remains smaller the own quantity.