

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология СБИС. В 2-х кн. Кн.1 / под ред. С.Зи. – М.: Мир, 1986. – С.292-353.
2. Соколов В.И. Некоторые характеристики пористого кремния (отражение, рассеяние, показатель преломления, микротвердость) / В.И.Соколов, А.И.Шелых // Письма в ЖТФ. – 2008. – Т.34, № 5. – С.34-39.

РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННАЯ ДИФФУЗИЯ АТОМОВ ФОСФОРА В КРЕМНИИ

О. И. Величко

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
velichkomail@gmail.com*

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей тенденцией современной электроники является уменьшение размеров полупроводниковых приборов. Вторая тенденция — это использование разнообразных многослойных структур. Так, большое внимание уделяется разработке структур со слоями $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ и технологии кремний на изоляторе (SOI). Реализация этих тенденций означает, что границы раздела оказывают все более существенное влияние на дефектно-примесную систему. Так, границы раздела представляют собой плоский двумерный дефект и могут действовать как источник или сток точечных дефектов. Соответственно распределения точечных дефектов около интерфейса в общем случае неоднородны. Неоднородные распределения точечных дефектов формируются также ионной имплантацией, которая широко используется для производства современных приборов электроники. Если концентрация точечных дефектов, генерируемых в результате ионной имплантации или бомбардировки ионами газоразрядной плазмы, существенно превышает термически равновесную концентрацию, имеет место радиационно-стимулированная (РСД) диффузия атомов примеси. Проведенный анализ позволяет сформулировать цель данного исследования. Эта цель заключается в описании особенностей процессов связанной диффузии примесных атомов и точечных дефектов в условиях неоднородности распределений компонентов дефектно-примесной системы.

ОПИСАНИЕ РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОЙ ДИФФУЗИИ

Уравнение диффузии примеси посредством формирования, миграции, и диссоциации пар “атом примеси — вакансия” и “атом примеси — собственный межузельный атом” было получено в работе [1]. В случае низкой концентрации примеси $C \leq n_i$ и диффузии посредством дефектов одного вида это уравнение может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 (\tilde{C}^D C)}{\partial x^2} \quad \text{или} \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D_i \frac{\partial}{\partial x} \left(\tilde{C}^D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + D_i \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \tilde{C}^D}{\partial x} C \right), \quad (1)$$

где $\tilde{C}^D$ — концентрация дефектов, ответственных за диффузию примеси, приведенная к термически равновесной концентрации этих частиц C_{eq}^D .

С другой стороны, в [2, 3] было получено уравнение диффузии примеси для простого вакансионного механизма переноса, когда происходит обмен местами между атомом примеси и соседней вакансией. Это уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_i \frac{\partial}{\partial x} \left(\tilde{C}^V \frac{\partial C}{\partial x} \right) - D_i \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \tilde{C}^V}{\partial x} C \right), \quad (2)$$

где $\tilde{C}^V$ — концентрация вакансий, нормированная к термически равновесной концентрации этих частиц C_{eq}^V .

Как видно из уравнений (1) и (2), оба уравнения описывают “восходящую” диффузию примеси, однако направления дополнительных потоков атомов примеси, которые пропорциональны градиенту концентрации точечных дефектов, противоположны для двух рассматриваемых механизмов переноса примеси. Это означает, что посредством моделирования процессов диффузии в условиях неоднородного распределения точечных дефектов можно получить полезную информацию о микроскопических механизмах переноса атомов примеси.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РСД ФОСФОРА

Исключим вначале простой вакансионный механизм диффузии посредством обмена местами атома примеси с соседней вакансией. Используем с этой целью экспериментальные данные [4] по легированию кремния фосфором из газоразрядной плазмы при температуре 820°C. Собственный коэффициент диффузии фосфора D_i для этой температуры равен $1,92 \times 10^{-8}$ мкм²/с. Как видно из рис.1, профиль распределения фосфора, рассчитанный в рамках простого вакансионного механизма, не согласуется с экспериментальными данными. В то же время расчет с использованием механизма диффузии посредством пар для той же средней длины пробега дефектов 0,34 мкм обеспечивает и качественное и количественное совпадение с экспериментом.

Аналогичные расчеты перераспределения ионно-имплантированного фосфора в подложке, находящейся при температуре 700°C и подвергаемой бомбардировке протонами с энергией 140 кэВ, показали, что дефектами, ответственными за диффузию примеси, являются межузельные атомы кремния. Хорошее соответствие результатов расчетов экспериментальным данным позволяет провести исследование процесса перераспределения фосфора при бомбардировке ионами водорода с энергией 1 кэВ однородно легированного слоя с толщиной 0,2 мкм, сформированного по технологии SOI.

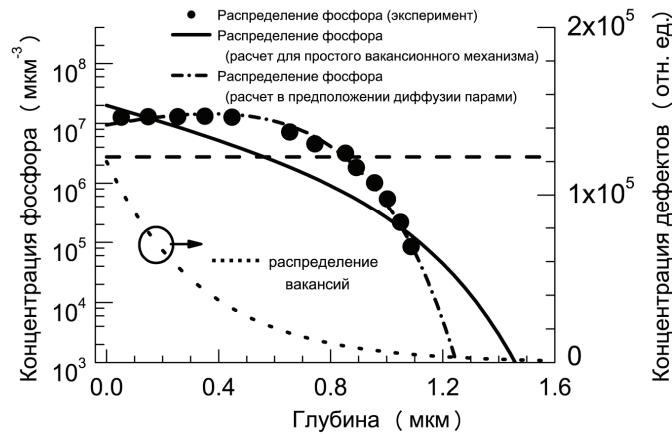


Рис. 1. Профили распределения фосфора в случае радиационно-стимулированной диффузии при плазменной обработке для температуры 820°C, рассчитанные для простого вакансионного механизма (сплошная кривая) и в предположении диффузии парами (штрих-пунктирная кривая). Пунктирная кривая - концентрация неравновесных вакансий. Зачерненные кружки — экспериментальное распределение фосфора [4]. Штриховая кривая — концентрация собственных носителей заряда n_i .

Результаты проведенного моделирования для длительностей плазменной обработки 0,5; 2, и 60 минут при температуре 700°C представлены на рис.2. Длина миграции межузельных атомов кремния 0,09 мкм.

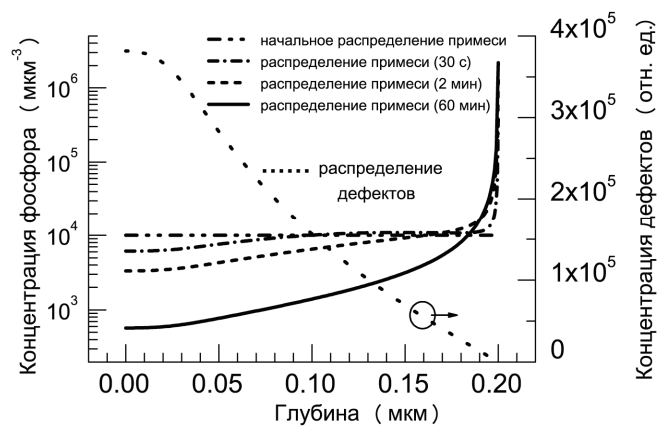


Рис. 2. Профили распределения фосфора в случае радиационно-стимулированной диффузии при плазменной обработке, рассчитанные для длительностей 0,5; 2 и 60 минут.

Пунктирная кривая — концентрация неравновесных точечных дефектов

Как видно из рис. 2, происходит обеднение примесью почти всего рассматриваемого слоя при одновременном формировании области с высокой концентрацией примеси на границе раздела кремний — изолятор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Величко, О. И. Система уравнений радиационно-стимулированной диффузии ионно-имплантированных примесей: мат. VII всесоюзной конференции "Взаимодействие атомных частиц с твердым телом" / О. И. Величко. Минск: Изд. МРТИ. 1984. Ч. 2. С. 180.
2. Uskov, V. A. Effect of nonuniform vacancy distribution on diffusion of impurities in semiconductors / V. A. Uskov, V. V. Vas'kin // Inorganic Materials. 1972. Vol. 8. No. 10. P. 1617.
3. Morikawa, Ya. Uphill diffusion mechanism in proton-irradiated silicon / Ya. Morikawa, K. Yamamoto, K. Nagami // Appl. Phys. Lett. 1980. Vol. 36. No. 12. P. 997.
4. Strack, H. Ion bombardment of silicon in a glow discharge / H. Strack // J. Appl. Phys. 1963. Vol. 34. No. 8. P. 2405.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛОВ TlGaS_2

В. Г. Гуртовой, А. У. Шелег, С. Н. Мустафаева, Э. М. Керимова

ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», iftpranb@physics.by

Кристаллы TlGaS_2 являются представителями большой группы тройных таллиевых халькогенидных соединений типа $\text{TlA}^{\text{III}}\text{B}^{\text{VI}}_2$ ($A = \text{In, Ga}$; $B = \text{S, Se, Te}$). Эти кристаллы имеют ярко выраженную слоистую структуру и представляют собой квазидвумерные системы с интересными физическими свойствами. Слоистая структура, как правило, приводит к проявлению анизотропии ряда физических характеристик и образованию политипных модификаций таких кристаллов, что значительно сказывается на их физических свойствах [1].

Большинство кристаллов этой группы проявляют как полупроводниковые, так и сегнетоэлектрические свойства. У некоторых представителей этого семейства при изменении температуры обнаружены последовательности фазовых переходов (ФП). Обусловленные наличием в них длиннопериодических соизмеримых и несоизмеримых сверхструктур и их преобразованием с изменением температуры [2]. Рентгенографические исследования кристаллов TlGaS_2 [3] показали наличие скачка параметра элементарной ячейки при $T = 127$ К. Следует отметить, что в одной из последних работ [4], в которой приводятся результаты исследования теплоёмкости, в кристалле TlGaS_2 зафиксированы ФП при $T_1 = 177$ К и $T_2 = 241$ К.

Следует отметить, что в литературе имеются значительные расхождения результатов по исследованию свойств кристаллов этого семейства. Такие расхождения могут иметь несколько причин. Во-первых, модулированная сверхструктура очень чувствительна к состоянию образца (структурные дефекты, различные примеси и т.д.), что сказывается на температурах ФП в кристалле. Во-вторых, так как эти кристаллы склонны к политипии, их физические свойства могут различаться. Кроме того, в этих кристаллах может образоваться смесь политипов. Поэтому представляло значительный интерес установить, как влияют примеси определённого сорта на физические характеристики этих кристаллов.

Известно, что легирование соединений приводит к изменению их физических свойств. В [5] показано, что частичное замещение галлия марганцем в монокристаллах TlGaS_2 приводит к увеличению коэффициента рентгеночувствительности. Частичное замещение галлия кобальтом в монокристаллах TlGaS_2 , как показано в [6],