

НОВЫЙ МЕХАНИЗМ ИОНИЗАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАДИАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ В ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Ю.Н. Ерохин, А.Г. Итальянцев,
В.Н. Мордкович

Известны работы, в которых сообщается о влиянии ионизационных процессов на образование, отжиг и миграцию радиационных дефектов в полупроводниках [1-3]. Однако в них не рассматривалось влияние ионизирующих воздействий непосредственно в процессе ионной имплантации на свойства ионно-легированных слоев. Между тем, в этой ситуации возможно иное проявление ионизационных механизмов.

Известно, что в имплантированных структурах на границе облученного слоя с неповрежденным кристаллом возникает электрическое поле, приводящее к перераспределению радиационных дефектов [4]. Поэтому можно было ожидать, что изменение величины такого электрического поля за счет генерации фотоиндуцированных носителей заряда способно повлиять на пространственное распределение и природу дефектов в имплантированных полупроводниках.

Экспериментально влияние фотоиндуцированного поля на свойства ионно-легированного слоя было обнаружено нами в опытах, где имплантация кремния сопровождалась дополнительным облучением образца светом с энергией квантов, превышающей ширину запрещенной зоны S_i . Выбор длины волны и интенсивности света позволял достичь дополнительной генерации неравновесных носителей заряда в области границы раздела имплантированный слой-кристалл, где влияние собственного ионизирующего воздействия ионного пучка несущественно.

На рис. 1 представлен качественный вид профиля распределения радиационных дефектов в кремнии n -типа (концентрация доноров $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$), облученного ионами He^+ (350 кэВ , 10^{15} см^{-2}). В процессе ионной бомбардировки экспериментальный образец дополнительно облучался светом He-Ne лазера (плотность мощности на поверхности кремния $10 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$). Приведенные на рисунке кривые получены с помощью измерений интенсивности медленной компоненты вторичных электронов на сколе образцов в растровом электронном микроскопе. Положительный знак вторично-эмиссионного контраста указывает на вакансионную природу радиационных дефектов [6].

Из рис. 1 видно, что дополнительное фотовозбуждение привело к заметному изменению распределения дефектов, в том числе на хвосте распределения, т.е. в области максимального действия внутренних электрических полей. Характер изменения профиля дефектов в экспериментальном образце, где электрическое поле, направленное к поверхности кристалла, было в значительной степени подавлено

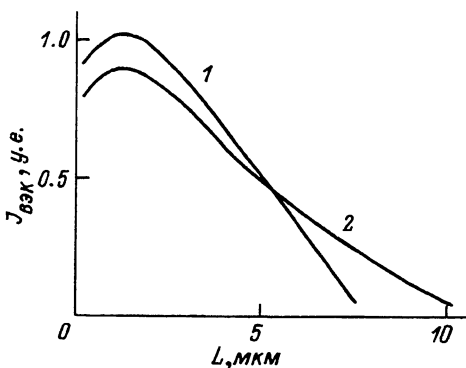


Рис. 1. Характер распределения дефектов вакансионной природы в Si , имплантированном ионами He^+ с (1) и без (2) дополнительного ионизационного возбуждения кристалла.

световым облучением, позволяет заключить, что подвижные вакансии в исследуемых кристаллах заряжены отрицательно. Это совпадает с современными представлениями о зарядовом состоянии вакансий в $n-Si$ [5].

Отметим, что в этом эксперименте на пространственное распределение радиационных дефектов помимо полевого в принципе могут влиять и другие ионизационные механизмы. С тем, чтобы выделить вклад фотоиндуцированного поля на фоне известных ионизационных механизмов изменения свойств радиационных дефектов, был поставлен следующий эксперимент. Две группы образцов $p-Si$ ($N_A, 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$) имплантировались ионами As^+ (300 кЭв , $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$). Экспериментальные образцы из каждой группы освещались при имплантации ртутной лампой высокого давления с плотностью мощности на поверхности образца $70 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$. В высокоомном облучаемом образце высота потенциального барьера на границе облученный слой-кристалл составляла 0.08 В , а в низкоомном — 0.26 В . Таким образом, в низкоомном экспериментальном образце фотоиндуцированный полевой эффект должен быть выше, чем в высокоомном, а другие ионизационные эффекты должны быть одинаковы в обоих образцах. На рис. 2 представлена зависимость поверхностного сопротивления облученного слоя от температуры изохронного отжига (30 мин). Видно, что эффект изменения динамики отжига выражен сильнее в низкоомном экспериментальном образце. При этом на первой стадии отжига ($T \lesssim 500 \text{ }^\circ\text{C}$) зависимости $R_s(T)$ в высокоомном экспериментальном и контрольном образцах совпадают, а в низкоомном экспериментальном образце обнаружено заметное ускорение отжига радиационных дефектов. Энергия активации отжига дефектов, обусловивших первую стадию отжига, составляет при этом 1 и

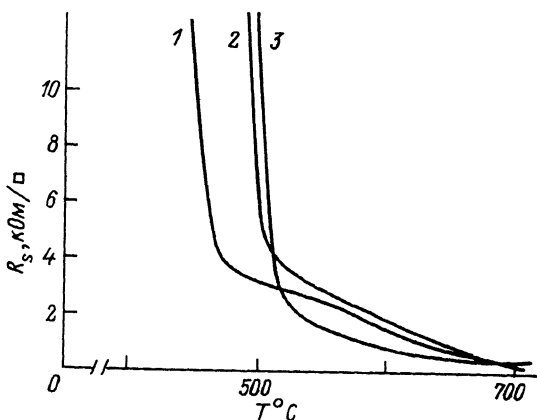


Рис. 2. Динамика изменения поверхностного сопротивления имплантированного слоя от температуры изохронного отжига. 1, 2 — образцы, имплантированные в условиях дополнительного ионизирующего светового воздействия (величина фотоиндуцированного электрического поля в 1 существенно больше, чем в 2), 3 — контрольный образец (стандартная имплантация без дополнительного ионизирующего воздействия).

1.3 эВ для освещенного и контрольного низкоомных образцов соответственно. Таким образом, данный эксперимент демонстрирует явное влияние полевого механизма ионизационного воздействия на свойства радиационных дефектов. Изменение природы радиационных дефектов, обусловленное дополнительным ионизирующим воздействием, было способно повлиять и на пространственное перераспределение дефектов, представленное на рис. 1. Очевидно, влияние фотоиндуцированного полевого эффекта на распределение радиационных нарушений может проявляться не только в изменении дрейфовой составляющей, но и в изменении свойств подвижных дефектов.

Результаты, иллюстрируемые рис. 2, подтверждают существование и не полевых механизмов ионизационного воздействия на природу дефектов, формируемых при ионной имплантации. На это указывает аналогичное замедление отжига ионно-имплантированных слоев как в низкоомном, так и в высокоомном экспериментальных образцах, подвергнутых фотовозбуждению, при высоких температурах отжига.

Таким образом, дополнительное ионизирующее воздействие на стадии ионной имплантации позволяет существенно влиять на физические процессы, протекающие при ионной бомбардировке полупроводников, и управлять структурными и электрофизическими свойствами ионно-легированных слоев. При исследовании механизмов такого влияния необходимо учитывать не только ионизационно-стимулированные процессы изменения свойств собственных точечных дефектов, но и в общем случае изменение электрических полей в облучаемом кристалле.

- [1] М а ш о в е ц Т.В. Чтения памяти А.Ф. Иоффе. Сборник научных трудов. Л.: Наука, 1986.
- [2] Г в е р д ц и т е л и И.Г., Г е р а с и м о в А.Б., Д ж и б у т и З.В., П х а к а д з е М.Г. - Поверхность. Физика, химия, механика, 1985, № 11, с. 132-133.
- [3] Ш е й к м а н М.К. - Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 38, в. 6, с. 278-280.
- [4] М о р о з о в N.P., Т e t e l b a u m D.I. - Phys. Stat. Sol. (a), 1979, 51, p. 629-640.
- [5] Вопросы радиационной физики полупроводников. Под ред. Л.С. Смирнова. Новосибирск: Наука, 1980.
- [6] Б о л д ы р е в С.Н., И т а л ь я н ц е в А.Г., М о р д к о в и ч В.Н. Физические методы исследования поверхности и диагностика материалов и элементов вычислительной техники. Кишинев, 1986, с. 31.

Институт проблем технологии
микроэлектроники и особочистых
материалов АН СССР

Поступило в Редакцию
19 января 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 9

12 мая 1988 г.

ДЕФЕКТЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КРЕМНИЯ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ

Л.Н. А л е к с а н д р о в, Е.В. Н и д а е в,
А.Л. В а с и л ь е в

Импульсное лазерное облучение широко используется для модификации структуры и свойств полупроводниковых слоев. При воздействии мощного лазерного излучения в приповерхностном слое полупроводника генерируются дефекты, природа которых до конца еще не выяснена. В частности, дискуссионным остается вопрос: чем насыщаются быстро кристаллизующиеся из расплава тонкие слои полупроводника - вакансиями или междоузельными атомами? Методом инфракрасного поглощения в облученном лазером кремнии не удалось обнаружить захваченные вакансии в комплексах кислород-вакансия и дивакансия [1]. В исследованиях, проведенных с помощью методов ЭПР и *DLTS*, наблюдались дефекты, являющиеся, как полагают авторы, вакансионно-кислородными комплексами [2, 3]. В то же время данные электронной микроскопии, как правило, показывают, что образующиеся в результате лазерного плавления и последующей эпитаксиальной кристаллизации слои не содержат протяженных дефектов [4].