

АНОМАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ Si ОТ ДОЗЫ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Ag^+ ПРИ $T > 330$ К

Жуковский П. В., Канторов С. Б., Кищак К.,
Мончка Д., Стельмах В. Ф.

С целью определения температурной зависимости кинетики дефектообразования и аморфизации был поставлен эксперимент по «in situ»-измерению интенсивности света He—Ne-лазера ($\lambda=632.8$ нм), отраженного имплантируемой (100) поверхностью Si. Имплантация проводилась ионами Ag^+ с $E=90$ кэВ, плотность ионного тока $j=0.5$ и 1.5 мкА/см². Температура образцов менялась от 298 до 400 К. Направление пучка ионов под углом 9° к нормали образца исключало каналирование. Перед имплантацией с образцов удалялся слой оксида.

Измерение интенсивности отраженного света уже использовалось для определения степени дефектности и момента перехода из кристаллического состояния в аморфное состояние имплантированного Si [1, 2].

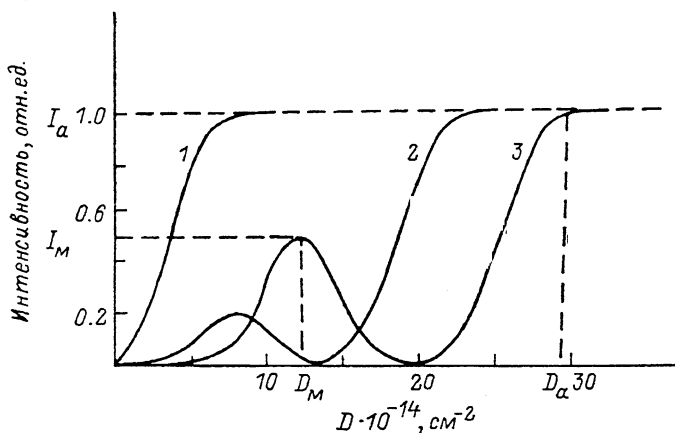


Рис. 1. Зависимость интенсивности отраженного света от дозы ионов Ag^+ .
 $E=90$ кэВ, $j=0.5$ мкА/см², T , К: 1 — 298, 2 — 353, 3 — 373.

Использование методики в модифицированном варианте in situ позволило получать в отличие от [1, 2] зависимость накопления дефектов непосредственно в процессе имплантации и тем самым радикально повысить точность при сокращении объема экспериментов и увеличении объема получаемой информации.

При температурах имплантации $T < 330$ К наблюдались хорошо известные [1] зависимости интенсивности I отраженного света и связанной с ней степени дефектности от дозы ионов, а именно монотонный рост от значения I_0 , характерного для исходного Si, до выхода на насыщение, соответствующего сплошной аморфизации имплантируемого слоя (рис. 1, кривая 1).

Однако при $T > 330$ К нами обнаружено, что дозовая зависимость степени дефектности становится существенно отличной (рис. 1, кривые 2, 3). Это отличие заключается в том, что аморфизации предшествует немонотонное накопление дефектов. Степень дефектности возрастает, достигает максимума, а затем происходит ее уменьшение практически до исходного значения. При дозах $D < D_M$ (рис. 1, кривые 2, 3) эффективный коэффициент введения дефектов уменьшается с ростом дозы, а при $D > D_M$ становится отрицательным, т. е. имеет место не только подавление генерации новых дефектов, но и одновременное восстановление структуры кристалла.

Явление самовосстановления структуры имплантируемого слоя наблюдается в процессе имплантации низкой интенсивности в условиях, когда не происходит повышения температуры кристалла под действием пучка ионов.

Обращает на себя внимание тот факт, что дополнительный максимум степени дефектности появляется для $j=0.5$ мкА/см² при температурах $T > 330$ К одновременно с возрастанием дозы аморфизации (рис. 2, кривые 1, 3).

Для характеристики явления самовосстановления структуры имплантируемого слоя нами были изучены зависимости степени дефектности от температуры и плотности ионного тока. С ростом температуры максимум степени дефектности смещается в сторону больших доз (рис. 2, кривая 3), а его амплитуда увеличивается и при $T \approx 380$ К достигает значения, характерного для сплошного аморфного слоя (рис. 2, кривая 5). Это означает, что, для того чтобы эффективный коэффициент введения дефектов стал отрицательным, с ростом температуры требуется большая концентрация дефектов (рис. 2, кривая 5). Увеличе-

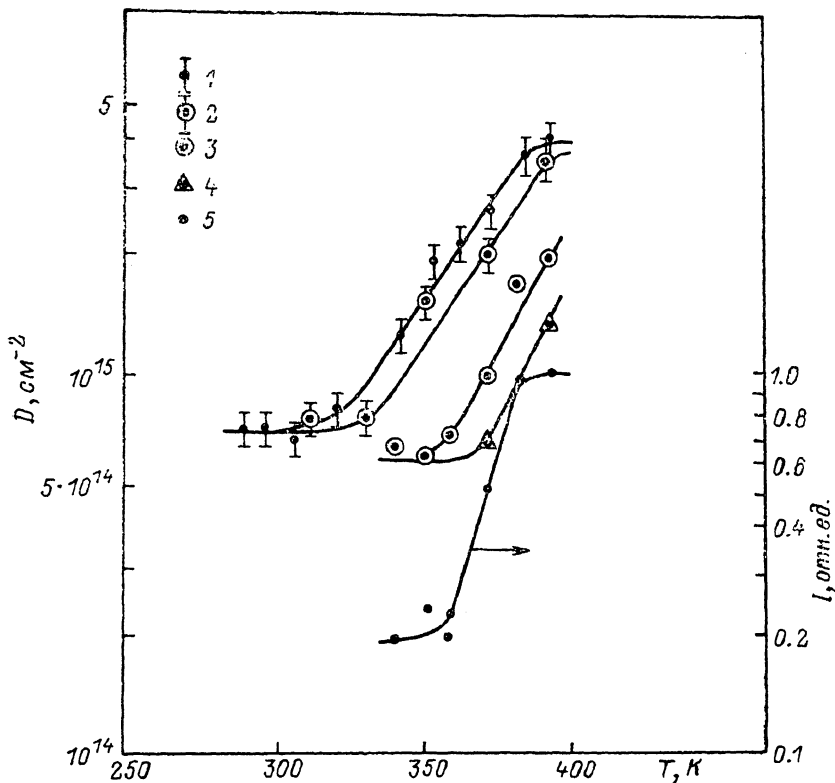


Рис. 2. Зависимость доз, соответствующих максимуму D_M (3, 4) и аморфизации D_A (1, 2). 1, 3 — D_A и D_M для $j=0.5$ мкА/см², 2, 4 — D_A и D_M для $j=1.5$ мкА/см², 5 — отношение интенсивностей в максимуме и при аморфизации I_M/I_A (масштаб справа) в зависимости от температуры.

ние плотности ионного тока до 1.5 мкА/см² приводит к смещению момента появления максимума на 15–20 °С в сторону больших температур (рис. 2, кривая 4).

Явление самовосстановления наблюдалось также при имплантации ионов Ne^+ и Kr^+ с энергией 90 КэВ. В случае ионов Ne^+ оно обнаружено на ~ 20 °С раньше, а для ионов Kr — на ~ 50 °С позже, чем для ионов Ag^+ .

Объяснить явление самовосстановления исходя из традиционных представлений об отжиге и аннигиляции дефектов не представляется возможным, так как эти процессы могут привести единственно к стационарной концентрации дефектов в имплантируемом слое. Это явление, по-видимому, не определяется и радиационно-стимулированными процессами, так как повышение плотности ионного тока приводит к задержке его включения (рис. 2, кривая 4).

Не исключено, что обнаруженное нами явление самовосстановления структуры имплантированного слоя обусловлено возникновением динамических эффектов, которые могут проявляться в сильно дефектных и аморфных полупроводниках [3] и связаны с новым типом колебаний атомов, возбуждаемых прыжковой перезарядкой радиационных дефектов.

С явлением самовосстановления структуры имплантированного слоя в процессе имплантации малыми плотностями ионного тока следует считаться при выборе режимов и контроле технологического процесса ионного легирования, а установление его закономерностей позволит получить новые данные о перестройке дефектной структуры и взаимодействии радиационных дефектов в материалах электронной техники.

Список литературы

- [1] Гусев Г. М., Стрельцов Л. Н., Старинин К. В., Хайбуллин И. Б. // ФТП. 1972. Т. 6. В. 6. С. 1191.
- [2] Masanobu M., Takao M., Takasini T. // Japan. J. Appl. Phys. 1978. V. 17. N 5. P. 955—956.
- [3] Żukowski P. W., Kantorow S. B., Maczka D., Stelmach W. F. // Phys. St. Sol. (a). 1989. V. 112. P. 695—698.

Белорусский государственный университет
им. В. И. Ленина

Минск

Университет им. М. Кюри-Склодовской
ПНР, Люблин

Получено 2.04.1990

Принято к печати 31.10.1990

ФТП, том 25, вып. 3, 1991

РОЛЬ ОБМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПЬЕЗОСПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ЭКСИТОНА, СВЯЗАННОГО НА АКЦЕПТОРЕ Sn В GaAs

Климакова Н. Н., Осипов Е. Б.,
Осипова Н. А., Цветкова Е. В.

В работе [1] были исследованы пьезоспектроскопические характеристики примесной фотолюминесценции арсенида галлия, легированного оловом, вблизи энергии 1.507 эВ. Узкий пик излучения свидетельствует о рекомбинации экситона, связанного на акцепторном центре Sn_{As} . Были изучены изменение с давлением положения линии люминесценции (ее расщепленных компонент), зависимость поляризационного отношения от давления, расщепление линии в магнитном поле и высказано предположение о существовании обменного взаимодействия дырок центра и экситона. Это предположение привлекалось лишь для объяснения наличия в спектре линии рекомбинации возбужденного состояния экситона (с полным моментом дырок $F=2$), отстоящего от основного (с $F=0$) на 1.3 мэВ. Однако детального исследования возбужденного состояния сделано не было. Объяснение экспериментальных данных работы [1] возможно и в предположении, что выполняется правило Хунда, т. е. основным является состояние с полным моментом дырок $F=2$. Поскольку для описания явления насыщения поляризационного отношения с давлением используется эффективная температура, превышающая температуру эксперимента, естественно предположить, что на центры действуют случайные поля, которые отщепляют состояние с проекцией момента дырок $m_F=0$. При этом внешнее магнитное поле расщепляет энергию связанного на акцепторе экситона лишь на два подуровня [1], соответствующих различным ориентациям спина электрона. Поэтому как магнитные, так и пьезоспектроскопические эксперименты [1] могут быть объяснены как в модели основного состояния с $F=0$, так и с $F=2$ (причем для объяснения пьезоспектроскопических измерений не требуется предположений о случайных полях).

Энергия и волновая функция основного состояния двух дырок с учетом обменного взаимодействия в присутствии деформации имеют вид [2]