

06.3;07

©1994

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОДЛОЖКИ НА КВАНТОВЫЙ ВЫХОД СИНЕЙ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ SiC-6H $p-n$ СТРУКТУР

Я.В.Морозенко

Известно, что при эпитаксиальном росте полупроводниковых структур дефекты в подложке ухудшают качество эпитаксиальных слоев. Так, при гомоэпитаксиальном выращивании $p-n$ структуры на подложке с дислокациями возможно проращивание дислокаций из подложки в эпитаксиальный слой. В настоящей работе сообщается о влиянии точечных дефектов в SiC-6H подложке на электрические и люминесцентные свойства эпитаксиального SiC-6H $p-n$ перехода.

Для эпитаксии использовались подложки n -типа, выращенные по методу Лели при $T = 2600^\circ \text{C}$; концентрация некомпенсированных доноров была $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Перед эпитаксией подложки травились в расплаве KOH на глубину ≈ 50 мкм с целью удаления поверхностного слоя, нарушенного механической обработкой.

Эпитаксиальные структуры, исследованные в работе, были выращены В.А.Дмитриевым и А.Е.Черенковым; структуры выращивались методом бесконтейнерной жидкостной эпитаксии из раствора-расплава Si-C [1] при температуре $(1450-1600)^\circ \text{C}$. Скорость роста при 1450°C была 0.1 мкм/мин., а при 1600°C — 1 мкм/мин. $p-n$ структуры выращивались как на ориентированных подложках, так и на разориентированных подложках (нормаль к плоскости подложки наклонена в направлении $[11\bar{2}0]$ на угол 1° по отношению к оси C). Выращивались структуры двух типов: "прямые" $p-n$ структуры с чередованием слоев n (подложка) — $p-n$ и "обращенные" структуры n (подложка) — $p-n$; n -слои легировались азотом (донор), p -слои — алюминием (акцептор). Толщины слоев как n , так и p -проводимости в обоих типах эпитаксиальных структур были около 10 мкм; таким образом, $p-n$ переход был удален от поверхности подложки примерно на 10 мкм. Исследовался $p-n$ переход, выращенный на Si-границе; в обращенных структурах, содержащих два $p-n$ перехода, исследовался $p-n$ переход между n - и p -эпитаксиальными слоями.

На изготовленные эпитаксиальные структуры с площадью $(0.5-2)$ см² наносились контакты и методом плазмохимического травления формировались мезаструктуры диаметром 400 мкм; расстояние между центрами мезаструктур — 650 мкм. В результате вся поверхность $p-n$ структуры была покрыта сплошной сеткой мезаструктур, что позволило исследовать распределение локальных электрических и электролюминесцентных характеристик по площади $p-n$ структур с пространственным разрешением ≈ 0.6 мм.

Для исследования влияния дефектов подложки на свойства эпитаксиального $p-n$ перехода отбирались подложки с минимальной плотностью дислокаций; плотность дислокаций определялась методом рентгеновской топографии и по ямкам травления. Политипная однородность подложек контролировалась по спектрам люминесценции и рентгеновским методом.

Исследование показало, что электрические и электролюминесцентные свойства эпитаксиальных $p-n$ переходов, выращенных на отобранных подложках, заметно отличаются в разных точках $p-n$ структуры: на “прямых” $p-n$ структурах наблюдается изменение интенсивности электролюминесценции в 3–10 раз, а на “обращенных” — в 2–3 раза на характерном расстоянии 2–5 мм.

Спектры электролюминесценции “прямых” $p-n$ переходов при $T = 80$ К представляют полосу донорно-акцепторной рекомбинации азот-алюминий; при комнатной температуре на эту полосу накладывается полоса перехода зона проводимости — акцептор (алюминий). Спектр электролюминесценции “обращенных” $p-n$ переходов также представляет полосу донорно-акцепторной рекомбинации, смещенную примерно на 110 мэВ в длинноволновую область спектра вследствие сильной компенсации светоизлучающей области $p-n$ перехода [2].

Для мезаструктур с интенсивной электролюминесценцией на прямой ветви ВАХ в интервале токов $10^{-4} - 10^2$ А/см² имеется два участка: при малых токах — экспоненциальный с показателем экспоненты $qU/2$ кТ, а при больших токах — линейный.

Для мезаструктур с малым квантовым выходом электролюминесценции в спектре наряду с полосой донорно-акцепторной рекомбинации появляется слабая полоса D_1 дефектной люминесценции; ее квантовый выход растет по мере уменьшения эффективности донорно-акцепторной люминесценции. При этом на прямой ветви ВАХ в области малых токов появляется участок “избыточных” токов; исследование температурной зависимости ВАХ показало, что этот ток имеет туннельную и термотуннельную природу. Для разных $p-n$ мезаструктур величина избыточного то-

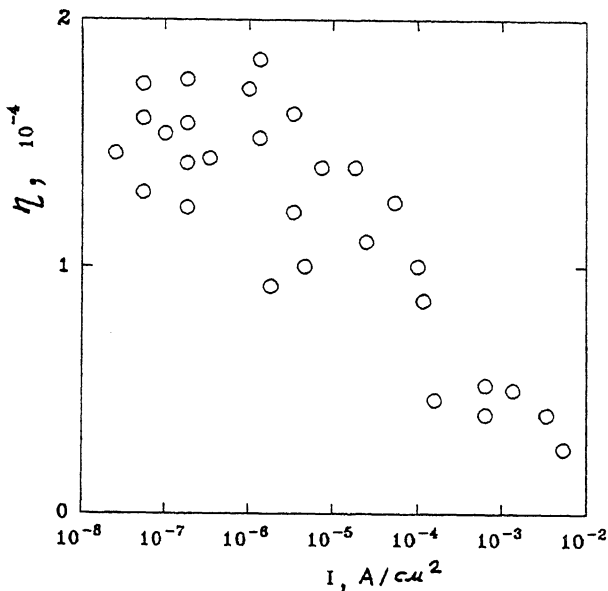


Рис. 1. Зависимость квантового выхода η донорно-акцепторной электролюминесценции SiC-6H $p-n$ мезаструктур от плотности избыточного тока I (при фиксированном прямом смещении 2 В).

ка (измеренного при фиксированном прямом смещении 2 В) разная, причем наблюдается прямо пропорциональная зависимость между величиной избыточного тока и значением обратного тока (измеренного при фиксированном обратном смещении, которое выбиралось меньше напряжения лавинного пробоя в 2–3 раза). При этом чем больше избыточный ток у $p-n$ мезаструктуры, тем меньше эффективность донорно-акцепторной люминесценции (рис. 1).

Наблюдаемые закономерности имеют простое объяснение: измерение электрических и электролюминесцентных свойств $p-n$ структуры по площади обусловлены изменением концентрации дефектов в области объемного заряда, а именно: локальное увеличение концентрации дефектов приводит к уменьшению выхода донорно-акцепторной люминесценции, разгоранию дефектной люминесценции, увеличению избыточного и обратного токов через $p-n$ переход.

Для $p-n$ мезаструктур с низкой эффективностью электролюминесценции уменьшение квантового выхода наблюдается как при малых, так и при больших токах, когда доля избыточного тока пренебрежимо мала. Поэтому наблюдаемые изменения свойств $p-n$ перехода не могут быть связаны с дефектами макроскопических размеров, закорачивающими $p-n$ переход (например, с включением второй фа-

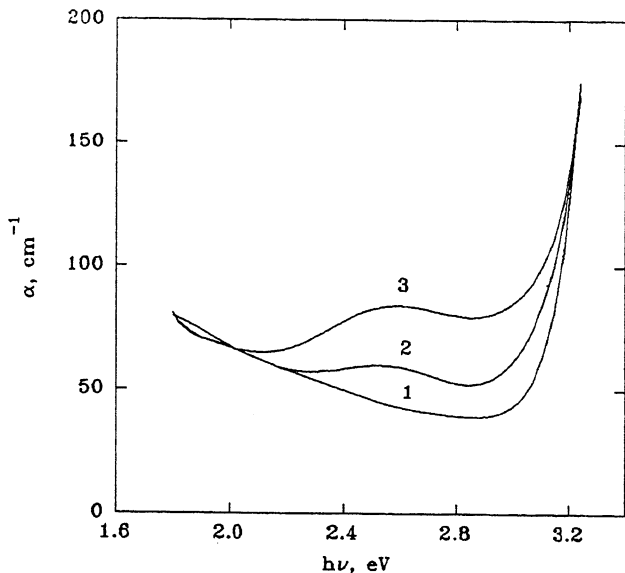


Рис. 2. Локальные спектры поглощения света в разных областях SiC-6H подложки. $T = 300$ К.

зы, либо с дислокациями, пересекающими область объемного заряда). Скорее всего, туннелирование носителей через $p-n$ переход обусловлено локальными скоплениями дефектов микроскопических размеров. Увеличение эффективности дефектной люминесценции (обусловленное рекомбинацией носителей на центре вакансии углерода — междоузельный кремний [3]) подтверждает этот вывод.

Для того, чтобы выяснить причину неоднородного распределения дефектов в области объемного заряда $p-n$ перехода, было проведено исследование однородности люминесценции и коэффициента поглощения подложек, на которых впоследствии проводилась эпитаксия. Было обнаружено соответствие между локальным квантовым выходом ДА фотолюминесценции в подложке и эффективностью ДА электролюминесценции в $p-n$ переходе, а именно: для подложек с яркой ДА люминесценцией над теми участками подложек, где фотолюминесценция наиболее интенсивная, $p-n$ мезаструктуры имели также интенсивную электролюминесценцию.

Наиболее отчетливая связь свойств подложки и $p-n$ перехода проявляется в зависимости поглощения света в подложке и квантового выхода электролюминесценции $p-n$ перехода. Измерение спектров локального поглощения света, проведенное в подложке перед эпитаксией показало, что в

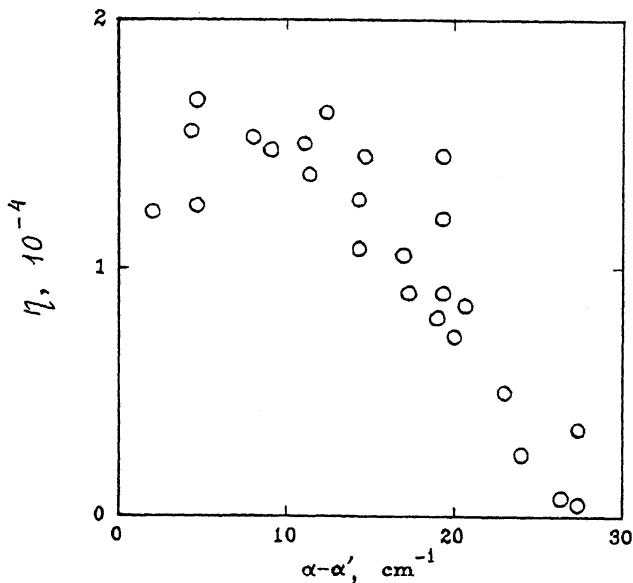


Рис. 3. Зависимость квантового выхода η донорно-акцепторной электролюминесценции эпитаксиальных $p-n$ мезоструктур от величины поглощения $\alpha - \alpha'$ в подложке. α -коэффициент поглощения в максимуме полосы; α' -коэффициент фонового поглощения (из кривой 1 на рис. 2).

видимой и ближней ИК области спектра наблюдается слабая широкая полоса поглощения, причем коэффициент поглощения в полосе разный в разных областях подложки. Коэффициент поглощения в полосе, как правило, мал и для подложек толщиной 0.4 мм изменение коэффициента поглощения в разных областях подложки визуально практически незаметно. Однако на некоторых исследованных подложках поглощение в полосе достаточно велико, и области с максимальным поглощением отчетливо проявляются в виде пятен и полос темно-бурого цвета.

Спектр полосы поглощения близок к спектру поглощения радиационных дефектов в SiC, введенных нейтронным облучением [4]. С другой стороны, распределение локального коэффициента поглощения по площади не соответствует распределению плотности дислокаций, наблюдаемых на рентгеновских топограммах и по ямкам травления. Мы предполагаем, что наблюдаемая полоса обусловлена поглощением света на дефектах микроскопических размеров, неравномерно распределенных по площади подложки.

Таким образом, установлено, что при жидкофазной эпитаксии карбида кремния точечные дефекты в подложке на-

следуются эпитаксиальным слоем, причем, эти дефекты сильно влияют на электрические и люминесцентные характеристики $p-n$ перехода. Это влияние проявляется для $p-n$ переходов, удаленных от подложки на 10 мкм.

Обнаруженное влияние свойств SiC подложки на характеристики эпитаксиального $p-n$ перехода позволяет производить отбор подложек для эпитаксии по спектрам поглощения света.

Мы благодарим В.А.Дмитриева и А.Е.Черенкова за предоставленные SiC $p-n$ структуры. Мы признательны В.Е.Челнокову за поддержку этой работы.

Список литературы

- [1] *Дмитриев В.А., Иванов П.А., Морозенко Я.В., Попов И.В., Челноков В.И.* // Письма ЖТФ. 1985. Т. 12. В. 2. С. 240-243.
- [2] *Евстропов В.В., Линьков И.Ю., Морозенко Я.В., Пикус Ф.Г.* // ФТП. 1992. Т. 26. В. 6. С. 969-978.
- [3] *Tairov Y.M., Vodakov Y.A.* // Topics in Appl. Phys. 1977. V. 1. P. 1-79.
- [4] *Макаров В.В.* // ФТТ. 1971. Т. 13. В. 7. С. 2357-2363.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
24 декабря 1993 г.