

06.2; 12

© 1992

ВЛИЯНИЕ ВЫРАЩИВАНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ
НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТИМОНИДА ИНДИЯВ.С. В е к ш и н а, Д.Г. Л е т е н к о,
О.В. Н а г и б и н, А.Я. П о л я к о в,
А.Б. Ф е д о р ц о в, Ю.В. Ч у р к и н

Контроль времени жизни неравновесных носителей тока, являясь важнейшим инструментом изучения рекомбинационных процессов в полупроводниках, позволяет судить о дефектах их структуры. Одним из наиболее распространенных и трудноустраняемых структурных дефектов в антимониде индия является наличие страт роста. Возникновение страт роста объясняется флуктуациями температуры на фронте кристаллизации вследствие тепловой конвекции, возникающей в расплаве в поле силы тяжести при наличии температурного градиента [1, 2]. Данные структурные дефекты приводят к возникновению в запрещенной зоне $InSb$ энергетических уровней. Как показано в [3, 4], в $InSb$ при температурах ниже 150 К рекомбинация неравновесных носителей тока через эти уровни является преобладающей. В работе [2] микрофотографией срезов слитков $InSb$ показано, что при выращивании кристаллов из расплава по методу Чохральского в достаточно сильном магнитном поле (с индукцией 0.1–0.4 Тл), ориентация которого перпендикулярна направлению роста кристаллов, термоконвекционные потоки в значительной степени подавляются и повышается однородность кристаллов. Следовательно, кристаллы $InSb$, выращенные в сильном магнитном поле, должны иметь пониженную концентрацию основных рекомбинационных центров и, как следствие, увеличенные значения времени жизни неравновесных носителей заряда и их подвижности. Для подтверждения этих соображений и определения количественных характеристик нами были выращены по методу Чохральского и исследованы слитки $p-InSb$ с концентрацией носителей при 77 К порядка $(1.8-2.3) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Часть слитка выращивалась без магнитного поля, часть – с включением магнитного поля поперечной ориентации и напряженностью $1.5 \cdot 10^3 \text{ А/м}$. Концентрация носителей в образцах измерялась из вольт-фарадных характеристик, а их подвижность – методом Вандер-Пау. Время жизни неравновесных носителей тока измерялось по частотной зависимости фотопроводимости (τ_p), по величине ФМЭ (τ_n), а также бесконтактным интерференционным методом [5, 6], позволяющим одновременно измерять времена жизни как неравновесных электронов (τ_n), так и неравновесных дырок (τ_p), причем не только их эффективные

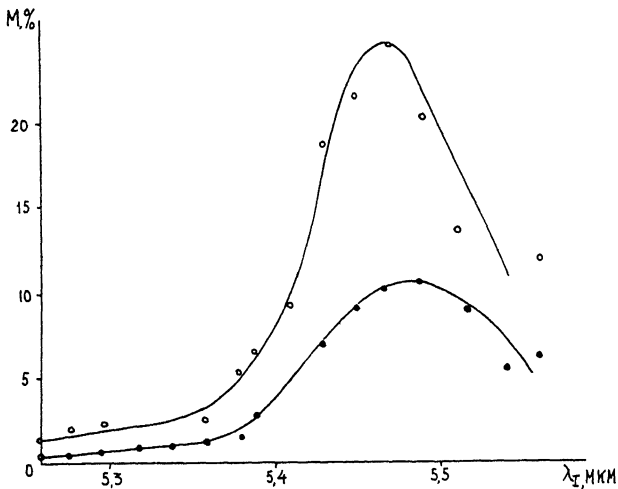


Рис. 1. Зависимость коэффициента модуляции M (образец, выращенный в магнитном поле — O ; без магнитного поля (\bullet)) от длины волны инжектора λ_I .

(τ_n^* , τ_p^*), но и объемные (τ_n , τ_p) значения, и скорость поверхностной рекомбинации S .

Суть интерференционного метода описана нами в работах [5, 6] и кратко заключается в следующем. Через плоскопараллельный полупроводниковый образец пропускается зондирующий монохроматический луч ИК-лазера, на длине волны λ_z которого образец прозрачен. Поскольку плоскопараллельный образец представляет собой интерферометр Фабри-Перо, то его коэффициент пропускания описывается известной функцией Эйри и зависит от показателя преломления и коэффициента поглощения полупроводника. Одновременно зондируемая область образца освещается оптическим инжектором, т.е. источником света с длиной волны λ_I , соответствующей основной или примесной полосе поглощения исследуемого материала. Луч инжектора модулируется по интенсивности, что вызывает модуляцию концентрации неравновесных носителей заряда, генерируемых оптическим инжектором в образце. Модуляция концентрации неравновесных носителей приводит к модуляции показателя преломления и коэффициента поглощения полупроводника, т.е. к модуляции пропускания образца. Таким образом, на выходе из образца возникает переменная составляющая зондирующего луча ΔI . Поскольку концентрация неравновесных носителей тока зависит от времен жизни (τ_n и τ_p), то ΔI , в конечном итоге, определяется временами жизни неравновесных электронов τ_n и дырок τ_p . Так как при оценке качества слитков желательнее знать объемное время жизни, как характеристику материала, а не его эффективное значение

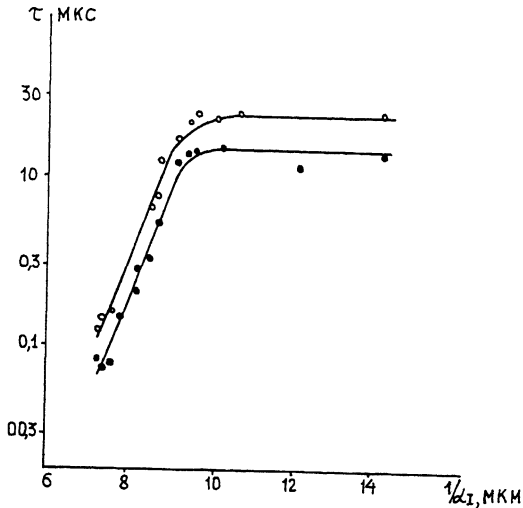


Рис. 2. Зависимость времени жизни неравновесных электронов в образцах, выращенных в магнитном поле (o) и без магнитного поля (•) от глубины проникновения в образец света оптического инжектора $1/\alpha_I$.

в исследуемом образце (на которое влияет качество обработки поверхности), то для определения объемных значений времен жизни τ_u и τ_p и скорости их поверхностной рекомбинации S мы воспользовались зависимостью [8] эффективного времени жизни от τ , S и коэффициента поглощения света оптического инжектора α_I в образце, аналогично тому, как мы это делали в работе [9].

В проведенном эксперименте в качестве источника зондирующего излучения использовался стабилизированный CO_2 -лазер (10.6 мкм). Оптическим инжектором служил перестраиваемый по длине волны CO -лазер оригинальной конструкции [10]. Выбор в качестве инжектора перестраиваемого CO -лазера был обусловлен тем, что его спектр возможных длин волн излучения (5.3 – 6.4 мкм) с запасом перекрывает край фундаментального поглощения в $InSb$ даже с учетом его смещения за счет изменения примесной концентрации в образцах в пределах 10^{12} – 10^{18} cm^{-3} , а также изменения температуры образца от 300 до 77 К. Вместе с тем, достаточно малое расстояние между линиями генерации CO -лазера позволяет плавно изменять коэффициент поглощения инжектирующего излучения α_I в $InSb$ в пределах 10^4 – 10^1 cm^{-1} . Таким образом, в зависимости от длины волны инжектора генерация электронно-дырочных пар в исследуемых образцах осуществлялась в слое толщиной от 1 мкм до полной толщины образца (порядка 1.5 мм).

В эксперименте определены: зависимость величины интерференционной модуляции $M = \Delta I / I_0$ от температуры образца при различных фиксированных λ_T и зависимость величины M от длины волны инжектора λ_T при различных фиксированных температурах образца (рис. 1), что позволяет определить зависимость $\tau = f(\alpha_T)$.

На рис. 2 представлена рассчитанная по экспериментальным данным зависимость эффективных времен жизни неравновесных электронов от величины I/α_T , т.е. от глубины проникновения света оптического инжектора в образец, для образцов, вырезанных из части слитка, выращенного без магнитного поля (•), и из части слитка, выращенного в магнитном поле напряженностью $1.5 \cdot 10^3$ А/м (о). Кроме того, были оценены объемные значения τ_p и скорость поверхностной рекомбинации S . Они составили $\tau_p = 0.53$ мкс, $S = 5.0 \cdot 10^4$ см/с.

Из полученных результатов видно, что включение достаточно сильного магнитного поля при росте кристалла приводит к увеличению объемного времени жизни примерно в 2.5 раза. Данные ФМЭ и частотные зависимости фотопроводимости также подтверждают это. Измерение подвижности показало, что она увеличивается с $2.8 \cdot 10^3$ см²/В с у образцов, выращенных без приложения поля, до $4.2 \cdot 10^3$ см²/В с у образцов, выращенных с приложением поля. Это подтверждает, что происходящее при выращивании в достаточно сильном магнитном поле поперечной ориентации улучшение однородности кристаллов снижает концентрацию структурных дефектов, которые определяют механизм рекомбинации в антимониде индия при низких температурах.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С а т р Р. // J. Appl. Phys. 1954. V. 25. N 4. P. 459-463.
- [2] З а м с к о в В.С., Р а у х м а н М.Р., М г а л о б - л и ш в и л и Д.П. // Физика и химия обработки материалов. 1985. № 5. С. 50-56.
- [3] L a f f R.A., F a u H.Y. // Phys. Rev. 1961. V. 121. N 1. P. 53-62.
- [4] А б д у в а х и д о в Х.Н., Г а л а в а н о в В.В., О д и н г В.Г. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 2. С. 403-405.
- [5] Ф е д о р ц о в А.Б., Ч у р к и н Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1988. В. 4. Т. 14. С. 321-324.
- [6] К о м а р о в с к и х К.Ф., Л е т е н к о Д.Г., П о - п о в Ю.Г., Ф е д о р ц о в А.Б., Ч у р к и н Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 8. С. 52-55.

- [7] Валяшко Е.Г., Плескачева Т.Б. // ФТП. 1973. Т. 7. В. 4. С. 836-839.
- [8] Re V o r e Н.В. // Phys. Rev. 1956. V.102. N 1. P. 86-91.
- [9] Воронков В.Б., Иванов А.С., Летенко Д.Г. и др. // ЖТФ. 1991. Т. 61. № 2. С. 104-108.
- [10] Летенко Д.Г., Савватеев В.Н., Федорцов А.Б., Чуркин Ю.В. // Приборы и техн. эксп. 1991. № 6. С. 124-125.

Северо-западный
политехнический
институт,
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
6 июля 1991 г.
В окончательной редакции
23 декабря 1991 г.