

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОДЕФЕКТОВ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЯХ ZNSE/GAAS

¹Шарибаев М.Б.

²Сапарниязова Г.

¹Хожахметова Г.

¹Каракалпакский государственный университет имени Бердаха (г.Нукус., Узбекистан)

²Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологии

(г.Нукус., Узбекистан)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15049529>

Аннотация. МПЭ усылы менен өсүрилген ҳар қыйлы қалыңлықтағы ZnSe/(001) GaAs эпитаксиаль жуқа пленкасының фотолюминесценция усылы менен терең қатламларындағы нурланыў спектрлери анықланылды. Эпитаксиаль пленканың дефектлерге ҳәм басқа элементлердің концентрациясына байланыслы нурланыў спектрлериниң үш бөлимнен туратуғынлығы анықланды.

Аннотация. Методом фотолюминесценций определены излучательные спектры глубоких уровней эпитаксиальных пленок ZnSe/(001) GaAs с различными толщинами выращенных методом МПЭ. Эпитаксиальные пленки ZnSe/(001) GaAs по концентрациям других элементов и дефектов состоит из трех регионов. Энергетическое смещение полос свидетельствует об уменьшении напряжения сжатия в яме и напряжений растяжения в буферном слое. Одним из способов влияния на характеристики границы раздела A^2B^6 /GaAs структур является использование тонких промежуточных слоев, которые могут задержать процессы интердиффузии компонентов плёнки и подложки.

INVESTIGATION THE DISTRIBUTION OF DOT AND MICRODEFECTS IN EPITAXIAL LAYERS OF ZNSE/GAAS

Abstract. In this work we report the depth inhomogeneity study of MBE grown ZnSe/(001) GaAs epilayers of different thickness by X-ray photoluminescence methods. It is shown that all these epilayers consist of three regions with different extended defect and impurity concentration. There are pressure strain decreasing in the well and dilution strain decreasing in the buffer layer. These processes cause low crystal qualities of the obtained layers which in turn stimulates degradation processes. One of the ways to influence on characteristics of border section of A^2B^6 /GaAs structure is utilization of thin intermediate layers which is able to halt interdiffusion of the components of a layer and substrate.

Введение

На основе высококачественных гетероэпитаксиальных слоев A^2B^6 стало возможным создать высокоэффективные наноразмерные лазеры, фотодетекторы, солнечные элементы, фотоотражающие приборы и другие устройства. Конечно, в этих структурах в качестве подложки используются монокристаллы GaAs.

Это связано тем, что технология получения высококачественных сравнительно дешевых GaAs монокристаллов с достаточной площадью, хорошо отработана в отличие монокристаллов A^2B^6 . Однако, использование GaAs в качестве подложки приводит к ряду новых проблем. Это, в-первых, существование несогласованности в постоянных решетках между бинарными соединениями A^2B^6 и GaAs.

Например, для пары ZnSe/GaAs она составляет $\sim 0.27\%$ при комнатной температуре, а для ZnTe/GaAs $\sim 7.6\%$. А разница в коэффициентах термического расширения между ними приводит к появлению упругих напряжений.

Во-вторых, осуществляется активная интердиффузия компонентов поперек границы раздела A^2B^6 /GaAs, которая ускоряется при образовании дислокации несоответствий [1] за счет релаксации упругих напряжений. Эти процессы обуславливают низкое кристаллическое качество полученных плёнок, которое в свою очередь, стимулирует деградационные процессы.

Одним из способов влияния на характеристики границы раздела A^2B^6 /GaAs структур является использование тонких промежуточных слоев, которые могут задержать процессы интердиффузии компонентов плёнки и подложки. Другим способом уменьшения негативного воздействия интерфейса, которой позволяет повысить деградационную стойкость структур на основе A^2B^6 , и есть использования толстых барьерных слоев.

Как было показано в [2], влияние границы раздела A^2B^6 /GaAs на свойства КЯ и сверхрешеток, определяет термическую стабильность всей системы, которая играют важную роль в процессах деградации синиезеленных лавинных диодов (ЛД) на основе ZnSe.

Экспериментальная часть.

Известно, что при выращивании эпитаксиальных слоев (ЭС) полупроводников A_2B_6 на подложках GaAs вблизи границы раздела образуется переходной слой с высокой плотностью дислокаций и других протяженных дефектов.

По этой причине мы исследовали распределение структурных дефектов (типичных и протяжённых) по глубине специально нелегированных ZnSe, ZnTe, и CdTe ЭС разной толщины, выращенных МПЭ на GaAs подложках, методами низкотемпературной ($T=4.2-77$ К) ФЛ и дифракцией рентгеновских лучей.

Изучалось также влияние тонкого аморфного слоя ZnTe, размещенного между буферным слоем ZnTe и GaAs подложкой на свойства КЯ - сверхрешеток и на объемные характеристики плёнок ZnTe.

Низкотемпературные спектры ФЛ слоев A^2B^6 разделяются на три спектральные области [3]: 1) область экситонных переходов, 2) область рекомбинации донорно-акцепторных пар, 3) ФЛ переходы, связанные с глубокими уровнями.

На рис.1 приведены типичные спектры ФЛ при 4.2 К для трех ЭС ZnSe/GaAs с различными толщинами, которые были выращены в одинаковых условиях. Спектры ФЛ образцов толщиной >1 мкм (кривые b, c) в краевой области состоят из узких линий с максимумами $h\nu_1=2.802$ эВ (442 нм), $h\nu_2=2.796$ эВ (443.5 нм), $h\nu_3=2.772$ эВ (446.8 нм), и $h\nu_4=2.602$ эВ (476.5). Согласно литературным данным [4] первые две полосы соответствуют излучательной рекомбинации свободного экситона I_{FX} и экситона, связанного на нейтральном доноре $I_2(D^0, X)$, соответственно. Экситонная природа этих переходов подтверждается соответствующими особенностями в спектрах отражения (см.4.6 и 4.13).

Последние две полосы I_V^0 (446, нм) и $Y_0(476.5)$ связывают с экситонными переходами на структурных дефектах, а именно прорастающих дислокациях и дислокациях несоответствия [5]. С высокоэнергетической стороны полосы I_V^0 в исследуемых образцах часто наблюдается плечо максимумом при 446 нм I_X .

Положение этого пика близко к положению двухэлектронного сателита (EL) перехода (D^0, X) [110], или к экситону, связанному на нейтральном акцепторе (связанного с As или его комплексами). Возможная природа этой линии будет рассмотрена ниже.

При более детальном рассмотрении выявляется, что полоса I_{FX} состоит из двух линий (основного пика и высокоэнергетического плеча), что обусловлено снятием вырождения в точке расщепления валентной зоны на зону легких дырок lh и тяжелых дырок hh под действием других напряжений пленки.[5].

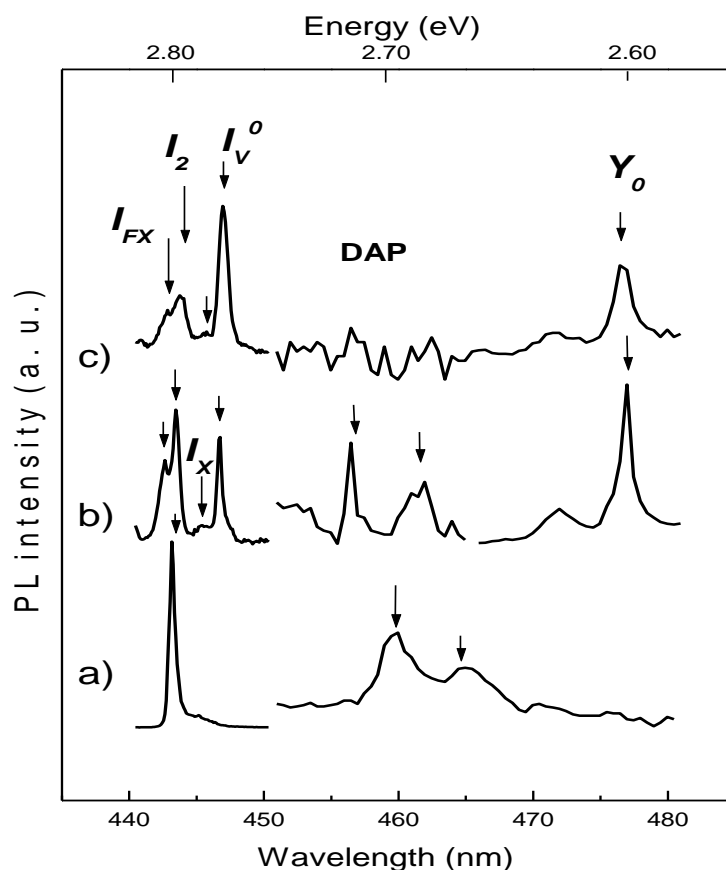


Рис.1 Типичные спектры ФЛ нелегированных образцов ЭС ZnSe/GaAs разной толщиной: 0.5 мкм (кривая а), 1.3 мкм (кривая б), 2 мкм (кривая в).

Последние вызваны несогласованием в постоянных решетках ЭС и GaAs подложки, а также разницей в коэффициентах термического расширения между ZnSe и GaAs, которая возникает при охлаждении ЭС от температуры роста. Положение I_h пика чувствительно к напряжениям и поэтому оно смещается в низкоэнергетический бок спектра с увеличением толщины образцов, так как с ростом толщины растет напряжение растяжения. Высокое значение отношения интенсивности линий экситона, связанного на нейтральном доноре, к пикам свободного экситона $\zeta = I_2(D^0, X)/I_{FX} = 1$ подтверждает высокую оптическую доскональность исследуемых образцов [5].

Кроме приведенных экситонных линий в спектре ФЛ толстых эпитаксиальных слоев присутствуют так же слабые полосы с максимумами 500 нм и 560-580 нм, связанные переходами на DA парах, а так же полосы $I_4 = 2.48$ eV (500 нм), $I_5 = 2.21$ eV (550 нм).

Слабые полосы, как правило, связывают с излучением донорно-акцепторных пар, где акцептором выступает V_{Zn} , а донором - элементы I группы (Na и Li). Полосе I_4 приписывают переход, связанный с собственными дефектами в ЭС.

Спектры ФЛ более тонких образцов (рис.1 кривая а) существенно отличаются от выше приведенных спектров. В экситонной области спектра наблюдается лишь полоса 443.5 нм, полуширина которой изменяется от $W=1,25$ нм (для образца №34) до $W=1.07$ нм (для образца №1). Этот экспериментальный результат подтвержден также измерениями Холл-эффекта, где получена высокая плотность для электронов $n=8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ - $1,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, соответствующая случаю вырождения. В спектрах ФЛ для всех тонких образцов наблюдалась так же широкая полоса с максимумом ~ 620 нм, которой приписывается ДА парная рекомбинация, где донором является элемент III группы, а акцептором V_{Zn} [6]. Как, правило, пик $I_2(D^0, X)$, который наблюдается в чистых образцах, связывают с Ga_{Zn} [6], хотя возможны интерпретации и другими элементами Cl_{Se} и In_{Zn} [6]. Загрязнение атомами галлия эпитаксиальной пленки ZnSe, вероятно, происходит с GaAs подложки. Это объясняется уменьшением отношения интенсивности I_2/I_{FX} с ростом толщины пленки (I_2 полоса связана с атомами Ga). Тогда возможным кандидатом в доноры III группы, которые отвечают, за полосу ФЛ 620 нм в тонких образцах, является также Ga_{Zn} .

Закключение

Толстые эпитаксиальные пленки ЭС (>1 мкм) содержат 2 области с повышенной концентрацией точечных макродефектов: область вблизи границы раздела A^2B^6 /подложка и тонкая область (<0.1 мкм) в приповерхностной области. Установлено, что протекает реакция образования точечных дефектов в приповерхностной области ЭС ZnSe/GaAs под действием облучения пучком электронов и УФ светом.

REFERENCES

1. E. Korsunskaya, V.P. Klad'ko, B. Embergenov, L.V. Borkovskaya, M.P. Semtsiv, and M. Sharibaev, "Molecular-beam epitaxial growth of CdZnTe/ZnTe QW structures and superlattices on GaAs (100) substrates for optoelectronics", *SPIE Proceeding*, 2001, v.**3890**, P.537-541.
2. V.I. Kozlovski, A.B. Krysa, Yu.G. Sadofyev, and A.G. Turyansky, "ZnTe epilayers and CdZnTe/ZnTe QWs grown by MBE on GaAs (100) substrates with use of solid-phase

- crystallization on seeded amorphous ZnTe layers”//Sol. Fiz. Techn. Poluprov. 2001, v.**33** (7), P.810-814.
3. E.F. Venger, Yu.G. Sadof'ev, G.N. Semenova, N.E. Korsunskaya, V.P. Klad'ko, L.V. Shechovtsov, M.P. Semtsiv, L.V. Borkobskaya, and S.Yu. Sapko, “Lateral and depth inhomogeneities in Zn-based heterostructures in grown on GaAs by MBE” *Thin Solid Films*, 2000, v. **367**(1,2), P.184-188.
 4. Козловский В. И., Крыса А. В., Садофьев Ю. Г. и др. ZnTe epilayers and ZnCdTe/ZnTe QW structures grown by MBE on GaAs (100) substrates using solid phase crystallization of amorphous ZnTe buffer layer.//ФТП. 1999, т.33, В7, С.810.
 5. Багаев В. С., Зайцев В. В., Калинин В. В. и др. Экситонная люминесценция и резонансное КР субмонослоев CdTe в пленках ZnTe, полученных методом МВЭ.//Письма в ЖЭТФ. 1993, т.**58**, В.2, С.82.
 6. Венгер Е. Ф., Садофьев Ю. Г., Семенова Г. Н., и др. Излучение, связанное с протяженными дефектами в эпитаксиальных слоях ZnTe/GaAs и многослойных структурах.//ФТП. 2006, т.**34**, В.2, С.13.