

Гигантская линейная поляризация фотолюминесценции в сверхрешетках типа II ZnSe/BeTe

© А.В. Платонов*[¶], В.П. Кочерешко*, Д.Р. Яковлев*[†], Г.В. Михайлов*, W. Ossau[†], A. Waag[†], G. Landwehr[†]

* Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия

[†] Physikalisches Institut der Universität Würzburg, 97074 Würzburg, Germany

(Поступила 1 марта 1999 г. Принята к печати 2 марта 1999 г.)

Исследованы спектры фотолюминесценции сверхрешеток II типа ZnSe/BeTe. Обнаружена гигантская степень линейной поляризации люминесценции при неполяризованном возбуждении в области пространственно непрямого экситона. Эффект интерпретирован в модели общей оптической анизотропии гетероструктур без общего атома на интерфейсах.

В последнее время появилась серия работ, посвященных исследованию оптической анизотропии в плоскости структуры для гетероструктур без общего атома на интерфейсах, таких как InAs/GaSb, (InGa)/InP [1–3]. Эффект оптической анизотропии связывается с более низкой по сравнению с объемом симметрией одиночного интерфейса между двумя полупроводниками со структурой цинковой обманки. В гетероструктурах с общим атомом на интерфейсах, например AlAs/GaAs, интерфейсы в квантовой яме (КЯ) переходят друг в друга при повороте на 90° и зеркальном отражении в плоскости ямы, что повышает общую симметрию структуры до D_{2d} . Для структур без общего атома на интерфейсе, интерфейс состоит из двух атомарных слоев — анионного и катионного. Следовательно, существует четыре различных комбинации прямого и обратного интерфейсов (например, для InAs/GaSb существуют комбинации GaAs–GaAs, InSb–InSb, GaAs–InSb и InSb–GaAs). В случае одинаковых интерфейсов общая симметрия структуры остается D_{2d} , как и для КЯ с общим атомом, и никакой оптической анизотропии в плоскости структуры не возникает. В то же время для КЯ с разными интерфейсами не существует преобразования, переводящего интерфейсы друг в друга, и общая симметрия системы понижается до C_{2v} , для которой уже возможно существование оптической анизотропии. Микроскопически появления такой анизотропии может быть связано со смешиванием легкой и тяжелой дырок при нормальном падении на интерфейс, предсказанном в работе [4]. Экспериментально такая анизотропия была впервые обнаружена Вуазеном [1] для структур с квантовыми ямами на основе полупроводниковых соединений III–V.

В данной работе представлено исследование этого эффекта для квантовых ям типа II — ZnSe/BeTe. Выбор этой системы связан с тем, что пространственно непрямым экситонный переход может быть сильно привязан к интерфейсу и тем самым оказаться более чувствительным к его свойствам.

Образцы были выращены методом молекулярно-пучковой эпитаксии на подложке GaAs (100). В процессе роста проводился контроль за типом интерфейсов. Всего было исследовано 3 типа сверхрешеток ZnSe/BeTe (100/50) Å × 20 с интерфейсами ZnTe–ZnTe, BeSe–BeSe и BeSe–ZnTe.

Спектры не поляризованной фотолюминесценции (ФЛ) таких сверхрешеток были исследованы в [5,6]. В спектрах ФЛ проявляются два экситонных резонанса с энергиями порядка 2.8 и 2.0 эВ, которые связаны с пространственно прямым экситоном в ZnSe и непрямым экситоном с дыркой, локализованной в слое BeTe, и электроном в слое ZnSe.

В данной работе проведены измерения степени поляризации спектров ФЛ в диапазоне температур 6–70 К. Исследовались как линейная, так и циркулярная поляризация ФЛ. Возбуждение производилось He–Cd-лазером с длиной волны 441.6 нм, что незначительно превышает энергию прямого экситона в ZnSe. Использовалось линейно поляризованное возбуждение, циркулярно поляризованное и неполяризованное.

Было обнаружено, что независимо от поляризации возбуждения сигнал фотолюминесценции непрямого экситона линейно поляризован вдоль оси $[1\bar{1}0]$. При этом степень поляризации существенно зависит от типов интерфейсов. Так, для структуры с номинально эквивалентными интерфейсами ZnTe–ZnTe она не превышала 50%, а для BeSe–BeSe — 15%, в то же время для неэквивалентной пары интерфейсов BeSe–ZnTe поляризация достигает 70% и более (рис. 1).

В теоретических работах [3,4] для описания эффекта смешивания легких и тяжелых дырок на интерфейсе был использован метод эффективной массы с граничными условиями специального вида. Было показано, что для типичных III–V гетероструктур типа I величина степени поляризации не превышает 20%. В экспериментальных работах для тех же структур эффект достигает 40%. Таким образом видно, что в нашем типе структур эффект значительно сильнее, чем в исследованных ранее.

[¶] E-mail: Alexei.Platonov@pop.ioffe.rssi.ru

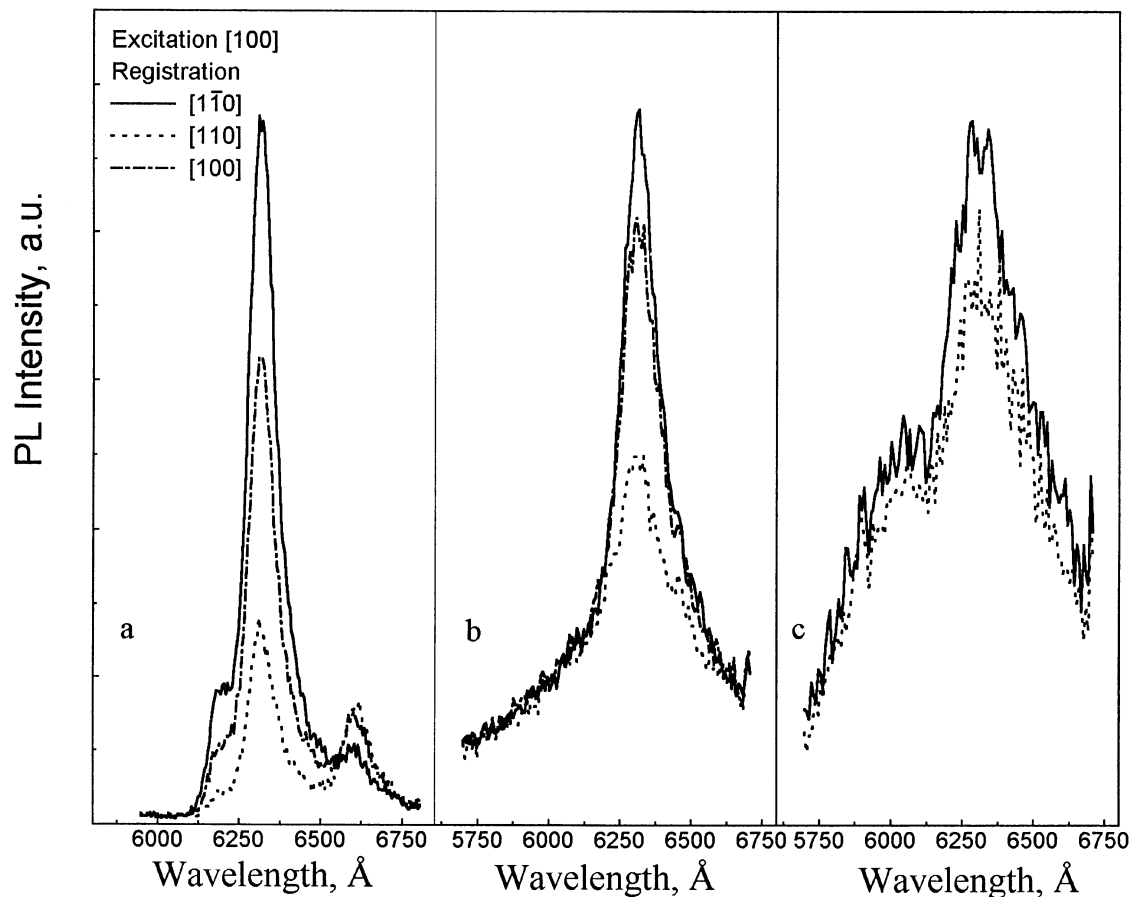


Рис. 1. Спектры поляризованной фотолюминесценции при температуре 6 К от пространственно непрямого экситона в CP ZnSe/BeTe ($100 \text{ \AA}/50 \text{ \AA}$) $\times 20$ периодов с различными типами интерфейсов: *a* — (BeSe)–(ZnTe), *b* — (ZnTe)–(ZnTe), *c* — (BeSe)–(BeSe). Возбуждающий свет линейно поляризован вдоль направления [100].

Столь значительное усиление эффекта может быть связано с тем, что пространственно непрямой экситон может быть сильно локализован на интерфейсе. На возможность локализации экситона вблизи интерфейса в этих структурах уже было указано в работе [7] на основе анализа спектров фотолюминесценции при высоком уровне возбуждения. В работе [8] по эмиссии вторичных электронов было указано, что возможным механизмом локализации является искривление зон вблизи гетерограницы. Для проверки этого предположения мы исследовали короткопериодные сверхрешетки (CP) ZnSe/BeTe $40/20 \text{ \AA}$. В такой сверхрешетке локализация должна заметно ослабеть из-за увеличения энергии размерного квантования дырки и, как следствие, размытия ее волновой функции по всей яме. Мы не обнаружили измеримой линейной поляризации фотолюминесценции для таких короткопериодных CP при любом наборе интерфейсов.

Из соображений симметрии следует, что в идеальной структуре с эквивалентными интерфейсами линейная поляризация должна отсутствовать. Однако в исследованных образцах мы обнаружили достаточно сильную

линейную поляризацию. Причиной этого может быть различие прямого и обратного интерфейсов в реальных структурах. Такая неэквивалентность связана с большим различием в химической активности Be к Zn и Se к Te. Большая химическая активность Be приводит к снижению качества любого из двух интерфейсов, выращиваемых на слое BeTe по сравнению с ростом на слое ZnSe. Низкое качество интерфейса ведет к усилению безызлучательной рекомбинации и, следовательно, к различному вкладу в суммарный сигнал от прямого и обратного интерфейсов. Это приводит в свою очередь к возможности проявления линейной поляризации ФЛ и для структур с номинально эквивалентными интерфейсами. Другой причиной понижения симметрии может быть встроенное электрическое поле [3], присутствующее в силу указанного ранее изгиба зон.

На рис. 2 представлена зависимость спектров ФЛ от температуры. Из рисунка видно, что в представленном диапазоне температур степень линейной поляризации остается неизменной, а уменьшается только амплитуда сигнала. Такое поведение говорит о том, что поляризация ФЛ вызвана не эффектом термализации между

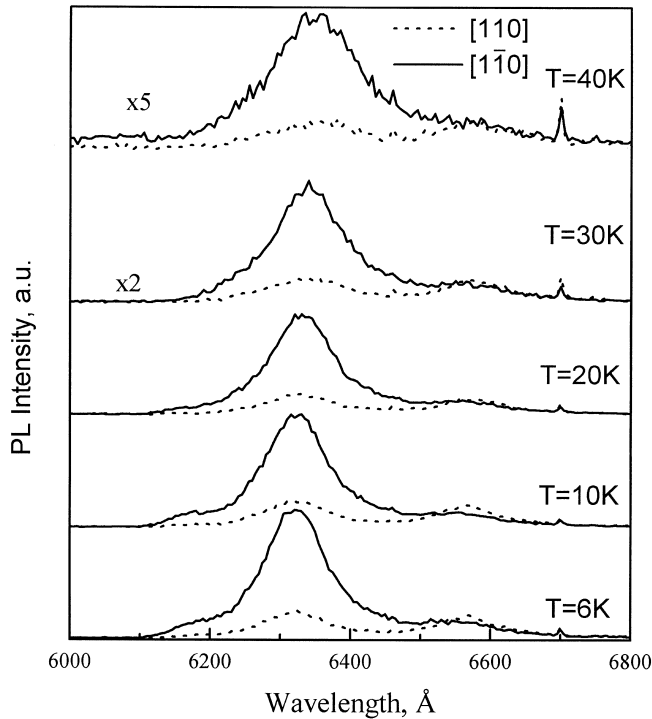


Рис. 2. Зависимость степени поляризации ФЛ от температуры вдоль главных осей структуры для СР ZnSe/BeTe ($100 \text{ \AA}/50 \text{ \AA}$) $\times 20$ с не симметричными интерфейсами (BeSe)-(ZnTe).

двумя слабо расщепленными уровнями, а разницей в вероятности переходов с ориентацией $[110]$ и $[1\bar{1}0]$. Это позволяет непосредственно сравнивать полученные нами результаты с результатами других авторов, использовавших спектроскопию поглощения. Кроме того, это позволяет исключить влияние состояний, локализованных на дефектах интерфейса (например, флуктуаций ширины ямы), которые могут быть сильно поляризованы в силу геометрии дефектов. Если бы вклад в сигнал поляризации от этих состояний был бы определяющим, то при росте температуры и делокализации носителей мы бы обнаружили уменьшение общей поляризации сигнала.

Таким образом, в работе представлены результаты исследования спектров ФЛ для СР типа II ZnSe/BeTe. Обнаружено, что сигнал ФЛ от пространственно непрямого перехода сильно поляризован вдоль направления $[1\bar{1}0]$. Показано, что эффект связан с общей анизотропией в плоскости гетероструктур без общего атома на интерфейсе. Большая величина эффекта объясняется сильной дырочной локализацией на интерфейсах в структурах типа II.

Работа была поддержана программой "Поддержки молодых ученых Президиума РАН", РФФИ (грант N 98-02-18234) и немецким научным обществом (SFB 410).

Список литературы

- [1] O. Krebs, P. Voisin. Phys. Rev. Lett., **77**, 1829 (1996).
- [2] O. Krebs, W. Seidel, P. Voisin. Inst. Phys. Conf. Ser. **155**, Chapter 12 (Proc. 23rd Int. Symp. Compound Semicond. St.Petersburg 1996, ed. by M.S.Shur, R.A.Suris) p. 859.
- [3] Е.Л. Ивченко, А.А. Торопов, П. Вуазен. ФТТ, **40**, 1925 (1998).
- [4] E.L. Ivchenko, A.Yu. Kaminskii, U. Rossler. Phys. Rev. B, **54**, 5852 (1996).
- [5] A.V. Platonov, D.R. Yakovlev, U. Zehnder, V.P. Kochereshko, W. Ossau, F. Fischer, T. Litz, A. Waag, G. Landwehr. Acta Phys. Polon. A, **92**, 1063 (1997).
- [6] A.V. Platonov, D.R. Yakovlev, U. zehnder, V.P. Kochereshko, W. Ossau, F. Fischer, T. Litz, A. Waag, G. Landwehr. J. Cryst. Growth, **184/185**, 801 (1998).
- [7] С.В. Зайцев, В.Д. Кулаковский, А.А. Максимов, Д.А. Пронин, И.И. Тартаковский, Н.А. Гиппиус, Д.Р. Яковлев, В. Оссау, К. Ландвер. Письма ЖЭТФ, **66**, 376 (1997).
- [8] M. Nagelstrasser, H. Droge, F. Fischer, T. Litz, A. Waag, G. Landwehr, H.-P. Steinruck. J. Appl. Phys. **83**, 4253 (1998).

Редактор В.В. Чалдышев

Giant linear polarization of luminescence in type-II ZnSe/BeTe superlattices

A.V. Platonov, V.P. Kochereshko, D.R. Yakovlev, G.V. Mikhailov, W. Ossau*, A. Waag*, G. Landwehr*

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St.Petersburg, Russia

* Physikalisches Institut der Universität Würzburg
97074 Würzburg, Germany