

использовались параметры АКМ из [4] и результаты расчета толщинной зависимости E_F из [5]. Отметим, что область частот поглощения определяется условием $E_{k, n} \leq E_F < E_{k, n'}$. Рисунок, б иллюстрирует изменение положения полос поглощения с толщиной пленки. При $d > 80$ нс дно подзоны 2 оказывается ниже E_F , переходы $2 \rightarrow 3$ становятся разрешенными и происходит расщепление полосы поглощения. При $d > 120$ нм дно подзоны 3 ниже E_F , поэтому появляется полоса поглощения, соответствующая переходам $3 \rightarrow 4$.

Поглощение света свободными носителями в пленках висмута, по видимому, наблюдалось в [6], хотя авторы и не акцентируют внимание на этом из-за сложности однозначной идентификации эффектов размерного квантования на фоне интерференционных.

Л и т е р а т у р а

- [1] Cotter A. A. J. Phys. C, 1975, vol. 8, N 23, p. 4135—4146.
- [2] Zaluzny M., Lukasik A. Phys. St. Sol. (b), 1986, vol. 137, N 2, p. 607—617; Zaluzny M. J. Phys. C, 1986, vol. 19, N 8, p. L177—L180.
- [3] Abrikosov A. A. J. Low Temp. Phys., 1972, vol. 8, N 3—4, p. 315—338; Cohen M. H. Phys. Rev., 1961, vol. 124, N 2, p. 387—395.
- [4] Беловолов М. И., Брандт Н. В., Вавилов В. С., Пономарев Я. Г. ЖЭТФ, 1977, т. 73, № 2, с. 721—731.
- [5] Mustafaev N. B., Shakhhtakhtinskii M. G., Shteinshreiber V. J., Gadzhiev A. T. Thin Sol. Films, 1986, vol. 137, N 1, p. 7—10.
- [6] Claessen L. M., Jansen A. G. M., Wyder P. Phys. Rev. B, 1986, vol. 33, N 12, p. 7947—7955.

Институт физики АН АзССР
Баку

Поступило в Редакцию
4 мая 1988 г.

УДК 621.315.592

Физика твердого тела, том 30, в. 10, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 10, 1988

АНИЗОТРОПНОЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ МАГНЕТСОПРОТИВЛЕНИЕ КВАЗИДВУМЕРНЫХ δ -ЛЕГИРОВАННЫХ СЛОЕВ GaAs

Г. М. Гусев, Э. Д. Квон, Д. И. Лубышев, В. П. Мигаль,
В. Н. Овсяк, В. В. Преображенский, С. И. Стенин

Несколько лет назад в физике двумерных электронных систем появился новый интересный объект — квазидвумерный δ -легированный слой электронов (или дырок), создаваемый на основе технологии молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) [1, 2]. В этой системе электроны движутся в симметричной V-образной потенциальной яме, образующейся при экранировании ими потенциала примесей. Отличительные особенности указанного слоя: заполнение электронами сразу 4—5 уровней размерного квантования, сильная зависимость подвижности от номера уровня, а также важная роль межподзонного рассеяния.

В настоящей работе впервые исследовано отрицательное магнетосопротивление (ОМС) δ -легированных слоев. Установлено, что это магнетосопротивление наблюдается как при нормальной к плоскости слоя ориентации магнитного поля, так и в продольном магнитном поле и обусловлено эффектами слабой локализации. Предположено, что продольное ОМС существует и при наличии размерного квантования за счет межподзонного рассеяния. Исследуемые структуры с δ -легированием выращивались в модернизированной серийной установке МЛЭ «ПМА-12». На атомарно-чистой поверхности (100) полуизолирующего GaAs при температуре 480 °С со скоростью 1,2 мкм/ч выращивались структуры, состоящие из специально

нелегированного слоя толщиной 0.5 мкм, δ -слоя и защитного нелегированного слоя толщиной 0.2 мкм. Неоднородность по толщине на пластине диаметром 40 мм не превышала 4%. Рост проводился в условиях поверхностной стехиометрии (поверхностная реконструкция 3×6). Остаточная концентрация акцепторных примесей составляла $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. δ -Слои выращивались двумя способами. После выращивания буферного

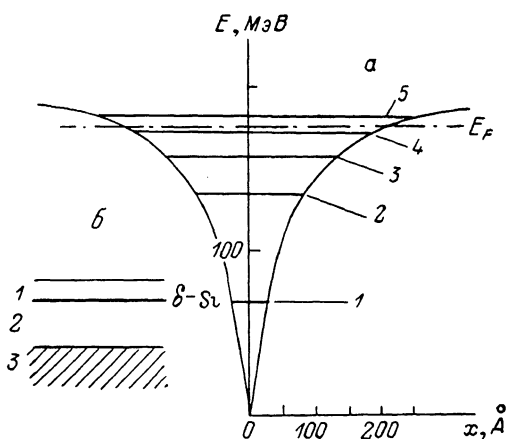


Рис. 1. Разрез структуры (а) и зонная диаграмма (б) δ -легированных слоев GaAs (толщиной 1 — 0.2, 2 — 0.5 мкм; 3 — АП), рассчитанная для концентрации атомов Si Nd = $6.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

слоя источник галлия перекрывался и в парах мышьяка напылялся слой кремния с концентрацией примерно $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. «Размытые» δ -слои получались при напылении того же количества кремния, но при открытом источнике галлия. В результате «размытый» δ -слой представлял пленку GaAs толщиной 118 Å, легированную до концентрации $5 \div 6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Толщина определялась с точностью до 1.5 Å по осцилляции интенсивности зеркального рефлекса дифракции быстрых электронов в процессе роста. Разрез готовой структуры с δ -слоем показан на рис. 1, там же приведена

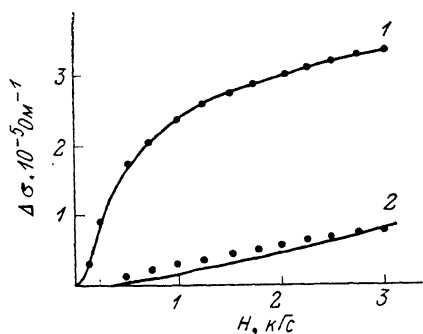


Рис. 2. Зависимость магнетопроводимости δ -легированных слоев от магнитного поля, перпендикулярного (1) и параллельного (2) поверхности, при 4.2 К.

Сплошная линия — эксперимент, точки — теория [3, 4] соответственно с $L_\varphi = 3000 \text{ Å}$, $d = 70 \text{ Å}$.

зонная диаграмма. Из этих структур были изготовлены образцы холловской геометрии с длиной 1.5 и шириной 0.2 мм. Холловские измерения показали, что при 4.2 К δ -слои имеют концентрацию $n_s = 6.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, подвижность $\mu = 1600 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, «размытые» слои $n_s = 5.6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, $\mu = 2200 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. ОМС измерялось при 1.7—4.2 К в магнитных полях до 3 кГс. На рис. 2 приведены типичные результаты измерений поперечного и продольного ОМС образцов с δ -слоем при 4.2 К. Он показывает, что в полях до 200 Гс поперечное ОМС на два порядка превышает продольное, но с увеличением поля анизотропия уменьшается, и в поле 3 кГс продольное ОМС сравнимо с поперечным. На этом же рисунке проведено сравнение с теорией ОМС [3, 4]. Видно, что поперечное ОМС хорошо согласуется с теорией, построенной для случая $L_\varphi > d_f$ (L_φ — длина когерентности; d_f — толщина слоя на уровне Ферми, равная в нашем случае 400—500 Å). При сравнении теории и эксперимента в продольном магнитном поле воз-

никает более сложная ситуация, так как энергетический спектр электрона в δ -слое квантован. Анализ шубниковских осцилляций показывает, что в исследованных образцах заполнены по крайней мере три подзоны разномерного квантования. По этой причине продольное ОМС должно было отсутствовать в слое. Однако оно наблюдается, хотя его поведение и находится в значительном разногласии с теорией. Вероятным объяснением подобной ситуации является предположение о том, что в данной системе диффузия в направлении, нормальном к поверхности слоя, идет не классическим образом, а за счет межподзонного рассеяния. Отметим, что продольное ОМС наблюдалось в гетероструктурах InGaAs/InP [5], где также заполнено несколько подзон размерного квантования.

Для окончательного выяснения причин наличия продольного ОМС в δ -слоях требуются дальнейшие исследования.

На основе измерений поперечного ОМС можно определить время релаксации фазы волновой функции τ_φ [3]. Оно оказалось равным $7 \cdot 10^{-12}$ с для δ -слоя, $5.4 \cdot 10^{-12}$ с для «размытого» слоя и зависящим от температуры линейным образом. Отсюда следует, что основным механизмом релаксации фазы в квазидвумерных δ -слоях GaAs являются электрон-электронные столкновения с малой передачей энергии [6].

В заключение благодарим В. И. Фалько за обсуждение результатов, А. Г. Погосова за проведение самосогласованного расчета зонной диаграммы δ -слоев GaAs.

Л и т е р а т у р а

- [1] Zrenner A., Reisinger H., Koch F., Ploog K. Proc. 17th International Conf. on the Phys. Semic., 1984, San Francisco. Springer, Berlin, 1985, p. 325—328.
 [2] Ploog K. J. Cryst. Growth, 1987, vol. 81, N 1, p. 304—313.
 [3] Альтшулер Б. Л., Аронов А. Г., Ларкин А. И., Хмельницкий Д. Е. ЖЭТФ, 1981, № 2, с. 768—783.
 [4] Альтшулер Б. Л., Аронов А. Г. Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, № 10, с. 515—518.
 [5] Алферов Ж. И., Гореленок Л. Т., Мамутин В. В. и др. ФТП, 1984, т. 18, № 11, с. 1999—2005.
 [6] Altshuler B. L., Aronov A. G., Khmelnskiyi D. E. J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1982, vol. 15, N 36, p. 7367—7386.

Институт физики
 полупроводников СО АН СССР
 Новосибирск

Поступило в Редакцию
 5 мая 1988 г.

УДК 539.292.539.2

Физика твердого тела, том 30, в. 10, 1988
 Solid State Physics, vol. 30, № 10, 1988

ВЛИЯНИЕ ВСЕСТОРОННЕГО СЖАТИЯ НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Cd_{1-x}Mn_xTe$

В. Ф. Агекян, Фан Зунг

Твердый полумагнитный раствор $Cd_{1-x}Mn_xTe$ в условиях всестороннего сжатия изучался лишь при 77 К и выше, причем спектроскопические исследования ограничивались спектром поглощения и полосой около 2 эВ, относящейся к $3d$ -уровням марганца [1-3]. В настоящей работе прослежена трансформация спектров фотолюминесценции $Cd_{1-x}Mn_xTe$ (полоса Mn и излучение экситона) в интервале $0.25 \leq x \leq 0.7$ при всестороннем сжатии P до 30 кбар и $T=2$ и 77 К.

На рис. 1 представлены спектры недеформированных кристаллов. Повышение температуры от 2 до 77 К внешне мало меняет спектры фотолюминесценции $Cd_{1-x}Mn_xTe$, однако, как было показано ранее [4], экситонная люминесценция при 77 К соответствует свободному экситону