

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ ЭПИТАКСИИ ГЕТЕРОСТРУКТУР GaSb/InAs/GaSb С ВЫСОКОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ ДВУМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Копьев П. С., Иванов С. В., Леденцов Н. Н., Мельцер Б. Я.,
Надточий М. Ю., Устинов В. М.

Методом МПЭ получены на подложках GaAs гетероструктуры GaSb/InAs/GaSb с квантовыми ямами и исследованы их магнитотранспортные свойства. Введение в конструкцию структуры дополнительной узкой квантовой ямы позволило значительно увеличить подвижность носителей при низких температурах.

В гетеропереходах 2-го рода двумерный канал может образовываться за счет перехода носителей из широкозонного материала в узкозонный без необходимости применения селективного легирования. В структурах GaSb/InAs дно зоны проводимости InAs лежит ниже потолка валентной зоны GaSb, по этой причине валентные электроны из GaSb переходят в зону проводимости InAs, в результате чего образуются двумерные каналы электронов и дырок по разные стороны от гетерограницы (рис. 1, а) [1]. Подобные структуры могут представлять интерес как для исследования особенностей физических процессов в электронно-дырочных системах [1, 2], так и для приборных применений в быстродействующей микроэлектронике вследствие низкой эффективной массы электронов в арсениде индия и большого разрыва зон на гетеропереходе. Задача получения высококачественных структур с высокой подвижностью является технически весьма сложной вследствие сравнительно большого рассогласования параметров решетки между составляющими материалами ($\Delta a/a = 0.61\%$). Тем не менее методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) подобные структуры были синтезированы на подложках GaAs. В лучших образцах подвижность электронов составляла $(3.5 \div 4) \cdot 10^5$ см²/В·с при низких температурах [3, 4], однако факторы, определяющие рассеяние носителей, а следовательно, возможности получения более высококачественных структур, к настоящему времени выяснены недостаточно.

В настоящей работе нами исследовались структуры с квантовыми ямами (КЯ) GaSb/InAs/GaSb, выращенные методом МПЭ на полуизолирующих подложках GaAs (100). Толщины нижнего буферного слоя GaSb, КЯ InAs и верхнего слоя GaSb составляют 1 мкм, 200 и 200 Å соответственно. На интерфейсах GaSb/InAs осуществлялась остановка роста на 30 с [3]. В процессе роста структуры специально не легировались, уровень фонового легирования составлял $n = (3 \div 5) \cdot 10^{16}$ см⁻³ и $p = (1 \div 3) \cdot 10^{15}$ см⁻³ при 77 К в InAs и GaSb соответственно. В отличие от селективно легированных гетероструктур GaAs/(Al, Ga)As необходимым условием проявления в проводимости двумерного электронного канала являлось получение зеркально гладкой морфологии поверхности синтезируемых структур.

На рис. 2 представлены температурные зависимости подвижности электронов в структурах, выращенных при разных температурах подложки — 400, 450 и 500 °С (кривые 1—3). Видно, что подвижность электронов при низких температурах возрастает с увеличением температуры подложки. Концентрация двумерных электронов, определенная из анализа осцилляций Шубникова—де-Гааза

(рис. 3, кривые 1—3), менялась незначительно. Так как основным механизмом ограничивающим подвижность при низких температурах в структурах с двумерным электронным газом, является рассеяние на ионизированных примесях

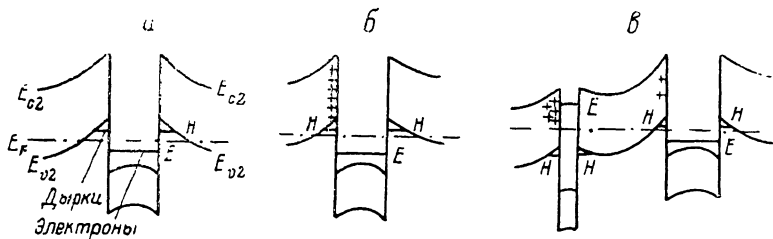


Рис. 1. Схематическое изображение энергетических зонных диаграмм идеальной КЯ GaSb/InAs/GaSb (а), реальной гетероструктуры GaSb/InAs/GaSb с КЯ (б) и структуры GaSb/InAs/GaSb—InAs/GaSb (в) с дополнительной КЯ, предложенной в данной работе.

E — уровень размерного квантования для электронов, H — для дырок. Кресты — заряженные состояния на интерфейсе GaSb/InAs. а — $n=p$; б, в — $n \neq p$.

как удаленных, так и расположенных непосредственно в области канала, полученный результат свидетельствует о понижении уровня фонового легирования в исследованных структурах с увеличением температуры роста. Попытка выращивания структуры при 550°C не была удачной вследствие сложности получения зеркальной морфологии поверхности.

Известно, что полученные методом МПЭ структуры с квантовыми ямами GaSb/InAs/GaSb не являются идеальными полуметаллами, поскольку обычно нарушается условие $n=p$ [1, 3]. Считается, что источником дополнительных электронов является связанный с гетерограницей неподвижный заряд (рис. 1, б),

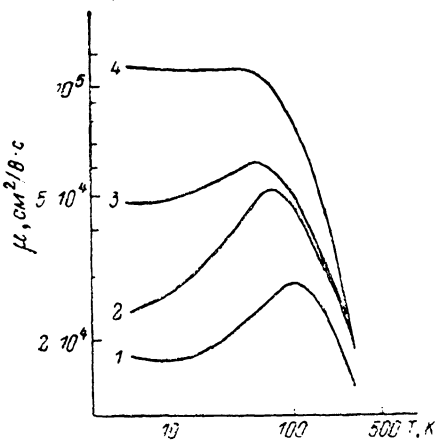


Рис. 2. Температурные зависимости подвижности для GaSb/InAs/GaSb гетероструктур с КЯ.

1—3 — для структур, выращенных при разных температурах подложки, 4 — для структуры с дополнительной КЯ.

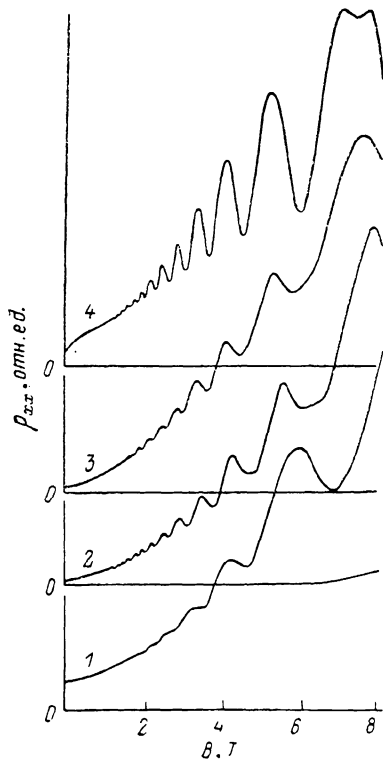


Рис. 3. Кривые низкотемпературного магнитосопротивления для исследованных структур.

$T=4.2\text{ K}$. 1—4 — то же, что и на рис. 2.

возникающий, возможно, вследствие большого рассогласования параметров решетки [3] или сегрегации примесей на поверхности роста GaSb с последующим их встраиванием вблизи гетерограницы. В случае справедливости последнего предположения помещение перед КЯ с двумерным электронным каналом допол-

нительной узкой КЯ (рис. 1, в) должно привести к понижению концентрации заряженных примесей в области двумерного канала вследствие их захвата в узкую яму. Вклад в проводимость от такой ямы практически отсутствует, так как уровень размерного квантования в ней лежит значительно выше уровня Ферми она не заполнена носителями.

Структура с дополнительной КЯ была выращена при температуре подложки 500 °С. Температурная зависимость подвижности электронов в полученной структуре и осцилляции Шубникова—де-Гааза представлены кривыми 4 на рис. 2 и 3 соответственно. Подвижность возрастает с понижением температуры от комнатной до 60 К, затем от температуры почти не зависит и, наконец, достигает величины $1.1 \cdot 10^5$ см²/В·с при 4.2 К. Это означает, что интенсивность рассеяния на ионизированных примесях в рассматриваемой структуре в существенной степени ослаблена по сравнению с предыдущими структурами обычного типа. Следовательно, узкая непроводящая КЯ InAs, помещенная перед КЯ с двумерными носителями, эффективно захватывает центры рассеяния, которые, по-видимому, связаны с сегрегацией примесей на поверхности GaSb при МПЭ. Уменьшения концентрации двумерных электронов в структуре с КЯ GaSb/InAs/GaSb при этом не происходит.

Таким образом, методом молекулярно-пучковой эпитаксии синтезированы гетероструктуры GaSb/InAs/GaSb с КЯ и исследованы их магнитотранспортные свойства. Высокая подвижность двумерных электронов ($1.1 \cdot 10^5$ см²/В·с) свидетельствует о высоком качестве полученных структур. Показано, что введение дополнительной узкой квантовой ямы позволяет значительно увеличить подвижность при низких температурах, вероятно, за счет захвата в нее в процессе роста центров рассеяния носителей.

Список литературы

- [1] Esaki L. // J. de Phys. 1987. V. 48 (Suppl.). N. 11. P. C5-1—C5-11.
- [2] Mendez E. E., Esaki L., Chang L. L. // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. N 20. P. 2216—2219.
- [3] Munekata H., Mendez E. E., Iye Y., Esaki L. // Surf. Sci. 1986. V. 174. P. 449—453.
- [4] Munekata H., Smith T. P., Chang L. L. // Workbook Fifth Int. Conf. on Molecular Beam Epitaxy. Sapporo, Japan, 1988. P. 498—500.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получена 9.11.1989
Принята к печати 1.12.1989