

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НЕРЕЛАКСИРОВАННОЙ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$

Н.А. АБДУЛЛАЕВ¹, Г.Л. БЕЛЕНЬКИЙ², Г. КИПШИДЗЕ², О.А. АЛИЕВ¹,
Х.В. АЛИГУЛИЕВА¹, К.М. ДЖАФАРЛИ¹, К.Ш. КАХРАМАНОВ¹,
Н.Т. МАМЕДОВ¹, В.Н. ЗВЕРЕВ³

¹Институт физики НАН Азербайджана,

Az-1143 Баку, Азербайджан

²Stony Brook University,

Stony Brook, New York 11794, USA

³Институт физики твёрдого тела РАН,

142432, Черноголовка, Россия

abnadir@physics.ab.az

Исследованы электропроводность, эффект Холла и магнитосопротивление в нерелаксированной гетерозитаксиальной структуре $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x = 0.43$ и 0.38) в широкой области температур 5-300К и магнитных полей вплоть до 8Т. Из температурной зависимости электропроводности оценена ширина запрещённой зоны, $\Delta E \sim 120\text{meV}$. На магнитополевой зависимости сопротивления выявлены биения, характерные для осцилляций Шубникова-де Гааза. Оцененная из периода осцилляций магнитосопротивления концентрация электронов удовлетворительно согласуется с концентрацией электронов, определённой из измерений эффекта Холла.

Ключевые слова: твёрдые растворы, гетерозитаксиальная структура, нерелаксированная структура, электропроводность, эффект Холла, магнитосопротивление, осцилляции Шубникова-де Гааза

PACS: 72.20. i ; 73.43.Qt ; 73.50. h

1. ВВЕДЕНИЕ

Материалы на основе твёрдых растворов элементов группы III-V, которые могут поглощать и излучать свет в технологически важной области спектра от 3 до 12 мкм, в которую попадают окна прозрачности атмосферы, делают их перспективными материалами для инфракрасной технологии. Наиболее подходящими для практического применения являются твёрдые растворы $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$, обладающие уникальным свойством широкого диапазона варьирования ширины запрещённой зоны от состава (величины x), попадающие в указанную область спектра. С увеличением содержания атомов сурьмы Sb ширина запрещённой зоны $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ меняется от ~ 0.4 до ~ 0.1 eV [1].

В предыдущей статье [2] нами было подробно изложена методика получения гетерозитаксиальных структур и их характеристика методами высокоразрешающей рентгеновской дифракции, сканирующей атомно-силовой микроскопии и микро-рамановского рассеяния. Показано, что получены нерелаксированные слои твердого раствора $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x = 0.43$ и 0.38) методом молекулярно-лучевой эпитаксии с использованием градиентных буферных слоев GaInSb и AlGaInSb . Целью настоящей работы являлось исследование электрических и гальваномагнитных свойств гетерозитаксиальных структур $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x = 0.43$ и 0.38).

2. ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

Исследования электропроводности проводились в широкой области температур 5-300К стандартным четырёхзондовым методом по селективной методике на частоте 20,5 Гц с

использованием *Lock in Amplifier SR 905*. Точечные контакты наносились с помощью серебряной пасты. Величина тока через образец не превышала 1 мА.

На рисунке 1 приведена температурная зависимость удельного сопротивления образца $\text{InAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$ в области температур 5-300К в координатах Аррениуса. Хорошо заметен термоактивационный характер температурной зависимости сопротивления в области температур 300-100К, характерный для собственной проводимости:

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}} \quad (1)$$

с уменьшением температуры удельное сопротивление плёнки экспоненциально возрастает. Здесь ΔE - ширина запрещённой зоны. Оценки ширины запрещённой зоны из (1) дают величину $\Delta E \sim 120\text{meV}$, что удовлетворительно согласуется с данными измерений фотолуминесценции твёрдых растворов $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ [3]. Наблюдаемое плато в области температур ниже $T < 100\text{K}$ на рис.1 обусловлено тем, что повышение сопротивления шунтируется более низкоомными нижележащими слоями гетерозитаксиальной структуры.

3. ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТА ХОЛЛА И МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ

Гальваномагнитные исследования проводились в магнитных полях вплоть до 8 Тл и при температуре $T = 5\text{K}$. Образцы при гальваномагнитных измерениях помещались внутрь сверхпроводящего соленоида, при

этом магнитное поле было направлено перпендикулярно плоскости эпислоя.

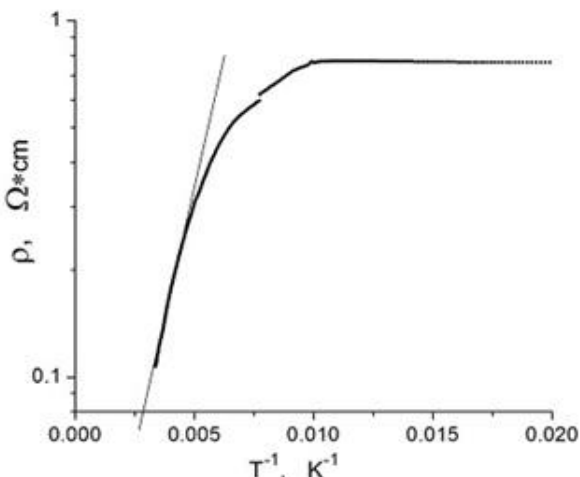


Рисунок 1. Температурная зависимость удельного сопротивления образца $\text{InAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$ в области температур 5-300К в координатах Аррениуса.

Исследования эффекта Холла проводились при двух взаимно противоположных направлениях магнитного поля для исключения вклада магнитосопротивления в холловское напряжение. Величина тока через образец не превышала 1 мА.

Исследования эффекта Холла показали, что все образцы были *n*-типа. Зависимость холловского напряжения от приложенного магнитного поля была линейной вплоть до 2Т. Оцененная из полевой зависимости холловского напряжения для $\text{InAs}_{0.62}\text{Sb}_{0.38}$ величина концентрации электронов оказалась равной $n \sim 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Для состава $\text{InAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$ концентрация электронов равна $n \sim 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Как видно с увеличением содержания атомов Sb концентрация электронов в твёрдом растворе $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ уменьшается.

На рисунке 2 приведена магнитополевая зависимость сопротивления в образцах $\text{InAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$. Как видно наличие значительного магнитосопротивления: при величине магнитного поля $B=7 \text{ Т}$ сопротивление возрастает почти 13 раз, т.е. $\Delta\rho/\rho \approx 12$. Это свидетельствует о высокой подвижности носителей заряда – электронов. Кроме того, на полевой зависимости магнитосопротивления наблюдаются биения, характерные для осцилляций Шубникова-де Газа.

Как известно, из периода P осцилляций магнитосопротивления можно оценить концентрацию n носителей заряда. В общем случае, для замкнутой поверхности Ферми произвольной формы период осцилляций определяется выражением [4]:

$$P\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar c S_F} \quad (2)$$

здесь S_F - экстремальная площадь сечения поверхности Ферми $\varepsilon(\vec{k}) = \mu_F$ плоскостью, перпендикулярной направлению магнитного поля.

Для соединений типа InSb концентрация носителей заряда определяется из соотношения:

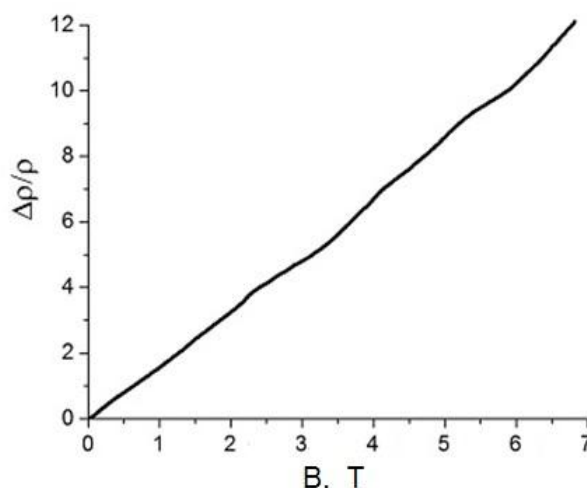


Рисунок 2. Магнитополевая зависимость сопротивления в образцах $\text{InAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$ при температуре $T=5\text{К}$.

Выделенные Фурье-анализом осцилляции на температурной зависимости магнитосопротивления (рис.2) приведены на рисунке 3.

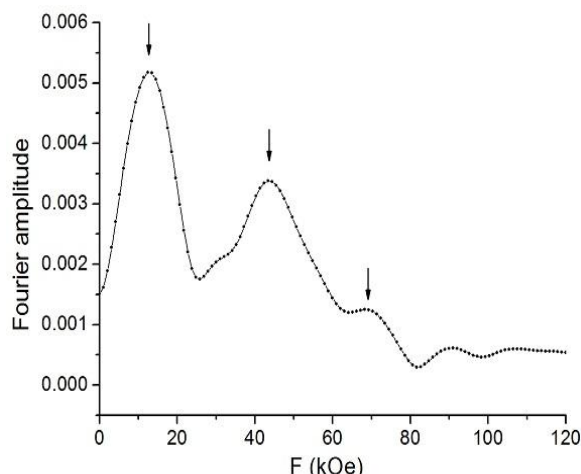


Рисунок 3. Осцилляции магнитосопротивления в образцах $\text{InAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$, выделенные Фурье-анализом.

$$n = \frac{1}{3\pi^2} \left(\frac{2e}{c\hbar P(1/H)} \right)^{3/2} \quad (3)$$

вычисления (3) дают величину $n \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, концентрация носителей заряда определённая из осцилляций Шубникова- де Газа хорошо согласуется с концентрацией, вычисленной из данных измерений эффекта Холла.

Работа выполнена при финансовой поддержке US National Science Foundation (Grant No DMR1160843) и Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской республики (грант № EIF/MQM/Elm-Tehsil-1-2016-1(26)-71/16/1).

- [1] *Z.M. Fang, K.Y. Ma, D.H. Jaw, R.M. Cohen and G.B. Stringfellow. J. Appl. Phys., 1990, 67, 7034*
- [2] *G.L. Belenky, D. Donetsky, G. Kipshidze, D. Wang, L. Shterengas, W.L. Sarney, S.P. Svensson. Appl. Phys. Lett., 2011, 99, 141116*
- [3] *R.R. Guseynov, V.A. Tanriverdiyev, G. Kipshidze, Y.N. Aliyeva, Kh.V. Aliguliyeva, N.A. Abdullayev, N.T. Mamedov. Semiconductors, 2017, 51, 524*
- [4] *И.М. Луфшунц, А.М. Косевич. ЖЭТФ, 1955, 29, 730*