

Топологические Переходы Полупроводник-Полуметалл в Нитях $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ при Анизотропной Деформации

Альбина НИКОЛАЕВА,^{1,2} Леонид КОНОПКО^{1,2}, Тито ХУБЕР³, Иван ПОПОВ¹, Евгений МОЛОШНИК¹

¹ *Институт Электронной Инженерии и Нанотехнологии им. Д. Гуцу, АН Молдовы
Academiei str. 3/3, MD-2028 Chisinau, Republic of Moldova
A.Nikolaeva@iieti.asm.md*

² *International Laboratory of High Magnetic Fields and Low Temperatures, Wroclaw, Poland*

³ *Department of Chemistry, Howard University, 500 College St. N.W., DC 20059
Washington, U.S.A.*

Абстракт — Получены монокристаллические нити $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ в полупроводниковой области концентраций ($0,05 < x < 0,12$) в стеклянной оболочке с диаметрами от 1 мкм до 2 мкм. При анизотропной деформации типа одноосного растяжения (до 2 % относительного удлинения), получен объем новой информации о количественной и качественной перестройке зонной структуры полупроводниковых нитей $\text{Bi}-8\text{at}\%\text{Sb}$. Установлено, что при анизотропной деформации типа упругого растяжения нитей $\text{Bi}-8\text{at}\%\text{Sb}$ происходит переход полупроводник – полуметалл, при котором сопротивление нити уменьшается в 2 раза. Переход регистрировался с помощью осцилляций Шубникова де Гааза от появляющихся L носителей и в сильных магнитных полях от T – дырок, что указывает на возрастание перекрытия L и T термов, т.е. на усиление вырождения системы.

Полученная информация будет полезна с точки зрения оптимизации приборов для термомагнитного охлаждения и приемников ИК – излучения, а так же при изготовлении тензодатчиков на основе Bi и сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$.

Ключевые слова— анизотропная деформация, переход полупроводник– полуметалл, полупроводниковые нанонити.

I. ВВЕДЕНИЕ

Среди различного вида воздействия на энергетический спектр, анизотропные, деформации, частным случаем которых является одноосное растяжение, обладают рядом специфических особенностей. В первую очередь это относится к возможности изменить симметрию кристаллической решетки деформируемых монокристаллических образцов и т.о. оказывать гораздо большее и качественно иное возмущающее воздействие на энергетический спектр носителей заряда. Существенным моментом при выборе материала $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ в качестве объекта исследований является тот факт, что сплавы $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ в определенной области концентрации представляют собой полупроводник с узкой запрещенной зоной. Варьируя величину концентрации Sb , можно непрерывно менять величину запрещенной зоны от 0 до 25 мэВ, что позволяет реализовать высокую фоточувствительность этих материалов в широком ИК – диапазоне спектра (10-15 мкм) [1]. Поэтому изучение свойств этих материалов в условиях сильных анизотропных деформаций, открывающих возможности качественно нового изменения их зонной структуры и свойств имеет важное практическое значение.

Исследование тонких монокристаллических нитей $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ в стеклянной оболочке, наиболее технологичных в изготовлении, чем вискры [2] и массивные образцы, позволят установить изменение энергетического спектра с помощью квантовых осцилляционных эффектов, что обеспечивает максимальную достоверность полученной информации

II. ЭКСПЕРИМЕНТ

Были исследованы нити $\text{Bi}-8\text{at}\%\text{Sb}$ в стеклянной оболочке, полученные литьем из жидкой фазы по методу Улитовского [3] с диаметрами от 0.2 мкм до 6 мкм. Все образцы были монокристаллическими с стандартной ориентацией $(10\bar{1}1)$ – вдоль оси нити, при которой тригональная ось C_3 наклонена к оси нити под углом в 70° , а одна из бинарных осей C_2 перпендикулярна к ней.

Для автоматизации процесса измерения деформационных зависимостей сопротивления $R(\xi)$ и термоэдс $\alpha(\xi)$, а также для осуществления проведения этих исследований в поле сверхпроводящего соленоида, т. е. в области сильных магнитных полей, было изготовлено устройство, при котором ось винта с помощью зубчатой передачи соединена с двигателем постоянного тока, а также соединена с многооборотным потенциометром. По изменению

сопротивления потенциометра можно определить угол поворота винта и, соответственно, определить изменение удлинения образца. Такая схема позволила автоматизировать проведение эксперимента.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

В полупроводниковых сплавах Bi-8at%Sb минимальной щелью является щель между электронными термами L^e и дырочными в T: $E_{L_e T} = 3meV$, $\varepsilon_{gL} = 9,4 мэВ$ (рис.1). [4]

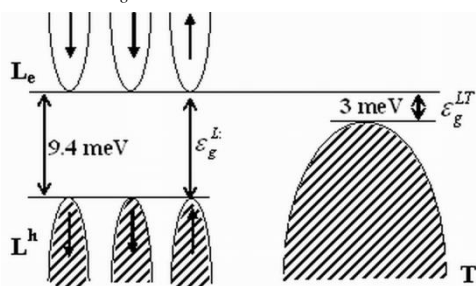


Рис. 1 Схематическое изображение зонной структуры сплава Bi-8at%Sb.

Исходный состав, из которого изготавливались нити различных диаметров, были полупроводники с концентрацией $10^{15} см^{-3}$. Все исследованные нити в недеформированном состоянии обладали n типом проводимости с полупроводниковой зависимостью сопротивления от температуры: $R_{4,2}/R_{300} \approx 2-10$. На полевых зависимостях $R(H)$ в магнитных полях до 14 Т осцилляции ШДГ не наблюдались (кривая 1, рис. 2).

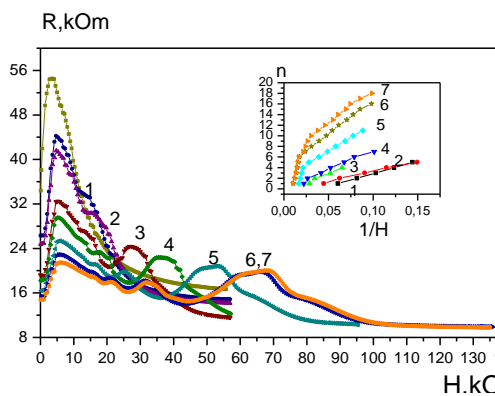


Рис. 2 Полевые зависимости продольного магнетосопротивления $R(H)$ при $T= 4.2$ К нити Bi-8at%Sb, $d= 1.1$ мкм, при упругом растяжении: 1- $\xi= 0,9\%$, 2- $\xi= 1\%$, 3- $\xi= 1,1\%$, 4- $\xi= 1,4\%$, 5- $\xi= 1,6\%$, 6- $\xi= 1,7\%$, 7- $\xi= 1,8\%$. На вставке - зависимости квантового номера n осцилляций ШДГ от $1/H$.

На рис. 2 представлены полевые зависимости продольного магнетосопротивления нити Bi-8at%Sb с $d= 1,1$ мкм при 4,2 К и различных значениях упругой деформации. При растяжении термы $L_{2,3}^h$, $L_{2,3}^e$ попарно смещаются по шкале энергии вниз, а термы L_1^h и L_1^e по шкале энергии вверх (рис. 1), в результате чего происходит переход полупроводник полуметалл [4], сопровождающийся падением сопротивления $R(\xi)$

вследствие металлизации образца.

Одновременно на полевых зависимостях $R(H)$ появляются осцилляции Шубникова де Гааза от L носителей (рис. 2), частота и амплитуда которых монотонно возрастают с увеличением растяжения от значения $f= 2$ Т до $f= 6$ Т (рис. 3, кривая 1). Величина квантового предела H_K (кривая 2 на рис.3) также смещающаяся в область сильных магнитных полей, также указывает на рост L сечений.

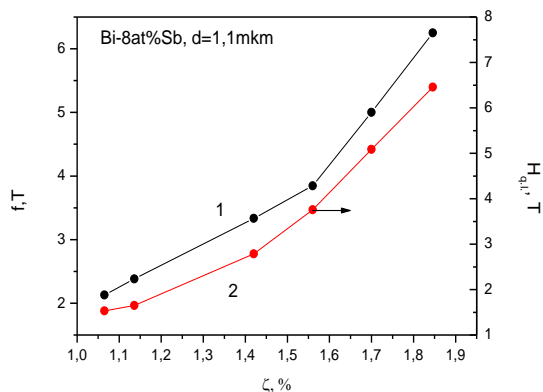


Рис. 3 Зависимость частоты осцилляций ШДГ (кривая 1) и поля квантового предела H_K (кривая 2) осцилляций ШДГ от $L_{2,3}$ носителей при растяжении, $T= 4,2$ К.

Кроме того, при максимальных деформациях $\xi= 1,7\%$ и $\xi= 1,8\%$ в сильных магнитных полях появляются осцилляции высокой частоты от T – дырок, что указывает на возрастание перекрытия L и T термов, т.е. на усиление вырождения системы.

Переход полупроводник-полуметалл в Bi-8at%Sb в нитях при деформации растяжения относится к электронным топологическим переходам Лифшица [4, 5].

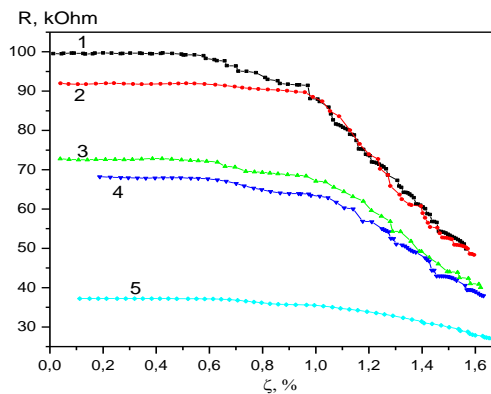


Рис. 4 Деформационные зависимости сопротивления нити Bi- bat%Sb при различных температурах: 1- $T= 4,2$ К, 2- $T= 18$ К, 3- $T= 46$ К, 4- $T= 51$ К, 5- $T= 100$ К.

Т.о. при упругой деформации нитей Bi-8at%Sb происходит переход полупроводник полуметалл, при котором сопротивление нити уменьшается в 2 раза (Рис. 4). Высокая тензочувствительность данных нитей и широкий предел упругого растяжения (1-1,5%) могут быть использованы для практических приложений в

качестве элементов тензодатчиков механических величин.

IV. ВЫВОДЫ

При анизотропной деформации типа одноосного растяжения (до 2 % относительного удлинения), получен объем новой информации о количественной и качественной перестройке зонной структуры полупроводниковых нитей $\text{Bi-8at}\% \text{Sb}$. Установлено, что при анизотропной деформации типа упругого растяжения нитей $\text{Bi-8at}\% \text{Sb}$ происходит переход полупроводник– полуметалл, при котором сопротивление нити уменьшается в 2 раза. Переход регистрировался с помощью осцилляций Шубникова де Газа.

Полученная информация будет полезна с точки зрения создания тензодатчиков на основе сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$. Расширение области упругих деформаций является одним из важных моментов для использования нитей полуметаллов в стеклянной оболочке в качестве элементов тензодатчиков.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Данная работа была выполнена при поддержке Ukrainian project no. 10.820.05.08.UF 5F.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В.Г.Алексеева, Т.М.Лифшиц, Е.Г.Чиркова, Я.Г.Шульман. Радиотехника и электроника, №9, 1926, 1978.
- [2] Гайдуков Ю.П., Данилова Н.П., Щербина-Самойлова М.Б. ФНТ, т. 4, N 2, 250, 1978.
- [3] D. Gitsu, L. Konopko, A. Nikolaeva and T. Huber, J. App. Phys. Lett., 86, 10210, 2005.
- [4] Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А., Минина Н.Я., Широких Н.Я. ЖЭТФ, т. 78, в. 3, 1131, 1980.
- [5] Лифшиц И.М. Об аномальных электронных характеристиках металлов в области больших давлений. ЖЭТФ, т. 38, 1569, 1960.