

ЭФФЕКТ ШУБНИКОВА – ДЕ ГААЗА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТИПА $A^3B^5C_2^6$

Л.И. Винокурова, Ы.Ю. Иванов, Л.С. Климова, Д.Д. Кодица*, Н.С. Попович*

Представлены результаты исследований квантовых осцилляций электросопротивления (эффект Шубникова – де Гааза) и эффекта Холла в монокристаллах вырожденных узкозонных полупроводников $TlBiS_2$ и $TlSbTe_2$. Из анализа экспериментальных данных определены поверхности Ферми этих соединений. Проведено сравнение полученных результатов с теоретическими расчетами.

Тройные соединения $A^3B^5C_2^6$ являются новым перспективным с практической точки зрения классом соединений – изоэлектронными аналогами элементарных полуметаллов группы висмута и бинарных полупроводников A^4B^6 . В настоящее время синтезировано девять соединений $A^3B^5C_2^6$, в которых элементы A^3 – Tl, B^5 – Bi, Sb, As, C^6 – S, Se, Te.

В данной работе представлены результаты исследования эффекта Шубникова – де Гааза в монокристаллах узкозонных полупроводников $TlBiS_2$ и $TlSbTe_2$. Кристаллы выращены в ИПФ АН МССР. Измерения э.д.с. Холла и магнитосопротивления в интервале температур от 4,2 К до 290 К в сильных магнитных полях производились на постоянном токе потенциометрическим методом с непрерывной записью данных на двухкоординатном самописце. Для создания магнитных полей до 150 кЭ использовалась установка "Соленоид" ИОФАН.

В $TlBiS_2$ осцилляции наблюдались при всех ориентациях магнитного поля относительно кристаллографических осей образцов. Это дает основание предположить, что соответствующий участок поверхности Ферми замкнутый.

Для данного соединения (подвижность $0,06 \div 0,24$ м²/В.с при 4,2 К) осцилляции электросопротивления начинались в полях порядка 80 кЭ. Наблюдались осцилляции только с одним периодом, который изменялся от $5 \cdot 10^{-7}$ до $4,2 \cdot 10^{-7}$ Гс⁻¹ при изменении ориентации магнитного поля от тригональной оси до плоскости, проходящей через бинарную и биссекторную оси. При вращении в плоскости, перпендикулярной тригональной оси, в пределах погрешности эксперимента, не было обнаружено анизотропии периодов. Это свидетельствует о том, что поверхность Ферми близка к поверхности вращения. Теоретически $1/l$ для соединения $TlBiS_2$ предсказано наличие участков поверхности Ферми, центрированных в точке Г и в точках L зоны Бриллюэна, причем согласно теоретическим предсказаниям дно зоны в области точки Г расположено ниже, чем в точке L. Из наличия одного периода осцилляций можно заключить, что в данном соединении существует только электронная часть поверхности Ферми, центрированная в точке Г зоны Бриллюэна. Этот вывод согласуется с экспериментально полученным характером угловых зависимостей магнитосопротивления и равенством составляющих тензора эффекта Холла.

Экспериментальные данные позволяют аппроксимировать поверхность Ферми исследуемого соединения эллипсоидом вращения подобно поверхности Ферми Bi. Отклонение экспериментальных данных от расчетных составило 2–3%, что находится в пределах погрешности эксперимента. Однако, как следует из рис. 1 а, имеются систематические отклонения экспериментальных точек от расчетной кривой в районе максимума и минимума, что указывает на отклонение поверхности Ферми от эллипсоидной формы.

Из данных по аппроксимации поверхности Ферми эллипсоидом вращения для $TlBiS_2$ была оценена анизотропия эффективных масс m_z/m_x , которая составила примерно 1,4. Заметим, что согласно теоретическим расчетам $m_z/m_x = 1$, т.е. поверхность Ферми данного соединения должна была бы быть сферой. Если для энергии Ферми принять значение, равное 0,15 эВ, оцененное из гальвано-магнитных измерений, для компонент тензора эффективных масс для одного из образцов получим следующие значения: $m_x = 0,18 m_0$, $m_z = 0,25 m_0$ (где m_0 – масса свободного электрона). Для других образцов получены близкие значения.

* Институт прикладной физики АН МССР, Кишинев.

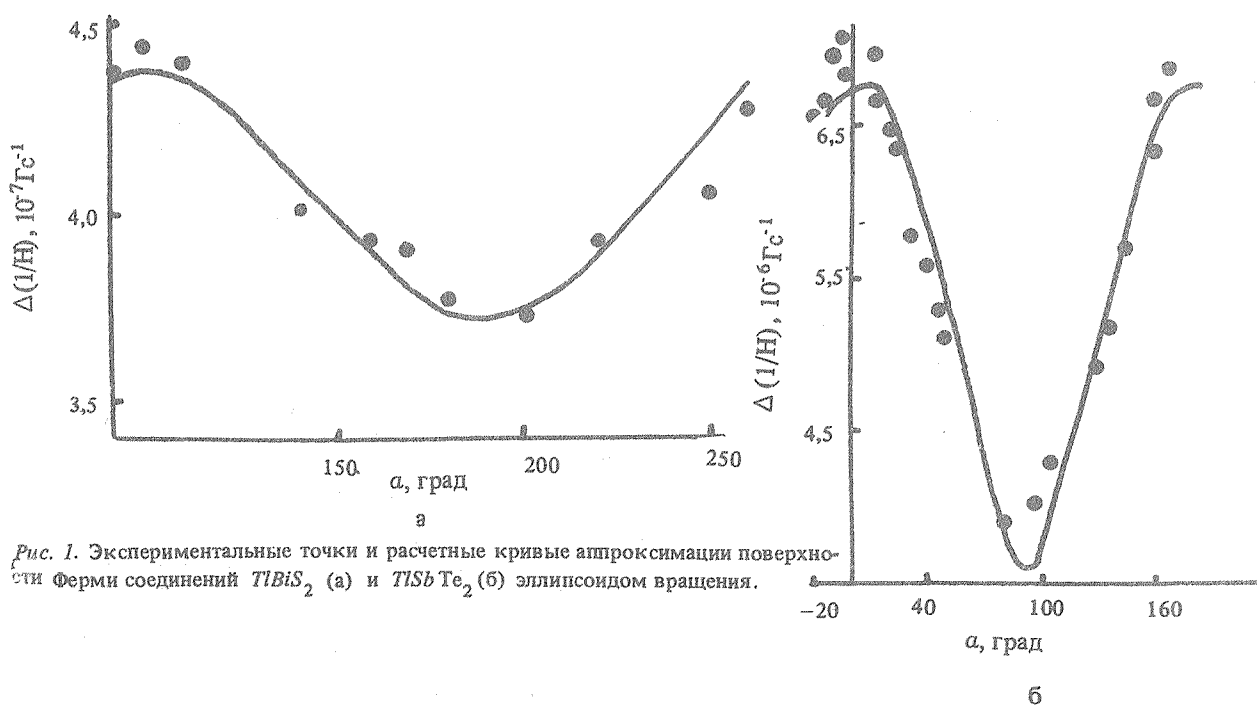


Рис. 1. Экспериментальные точки и расчетные кривые аппроксимации поверхности Ферми соединений $TlBiS_2$ (а) и $TlSbTe_2$ (б) эллипсоидом вращения.

Измерения, проведенные при различных температурах, показали, что осцилляции Шубникова – де Газа наблюдаются до температур порядка 20 К. Из температурной зависимости амплитуды осцилляций при определенном значении поля, параллельном тригональной оси, была оценена циклотронная масса, которая составила $\approx 0,1 m_0$.

Концентрация носителей, рассчитанная из экспериментально определенного объема поверхности Ферми, если считать ее эллипсоидом вращения, дает для одного из образцов значение $n_0 = 2,4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, что неслучайно согласуется со значением, полученным из постоянной Холла: $n_x = 2,8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Для другого образца согласие хуже: $n_0 = 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и $n_x = 3,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

В лучших образцах $TlSbTe_2$ с подвижностью $0,32 \div 0,75 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при 4,2 К осцилляции начинаются в полях порядка 30 кЭ. Появлению осцилляций предшествует насыщение магнитосопротивления, что свидетельствует о замкнутости поверхности Ферми.

В образцах $TlSbTe_2$ наблюдается наложение осцилляций с разными периодами. Один из периодов изменяется при изменении ориентации магнитного поля от тригональной оси до плоскости, проходящей через бинарную и биссекторную оси в пределах от $4 \cdot 10^{-7}$ до $7 \cdot 10^{-7} \text{ Гс}^{-1}$ и, очевидно, относится к дырочной части поверхности Ферми, центрированной в точке Γ зоны Бриллюэна. Анализ данных показал, что этот участок также отличается от эллипсоида вращения. Рис. 1б, иллюстрирует отклонение экспериментальных точек от расчетной кривой.

Другой группе носителей соответствуют осцилляции с большими периодами – порядка $3 \cdot 10^6 \text{ Гс}^{-1}$, что, вероятно, связано с наличием малых дырочных участков поверхности Ферми около точек L зоны Бриллюэна. Из-за близости частот и в связи с тем, что недостаточен интервал полей, в котором наблюдаются осцилляции, разделить частоты при помощи фурье-анализа не удалось.

Из температурной зависимости амплитуды осцилляций вдоль основных кристаллографических направлений оценена циклотронная масса, которая оказалась равной при направлении поля, параллельном тригональной оси 0,07, а в направлении поля, параллельном бинарной оси 0,14 m_0 .

Если для участка поверхности Ферми, центрированного в точке Γ , принять то же значение энергии Ферми, что и для $TlBiS_2$ (0,15 эВ) и аппроксимировать поверхность Ферми эллипсоидом вращения, то получаются следующие значения компонент тензора эффективных масс: $m_x = 0,11 m_0$, $m_z = 0,41 m_0$. Концентрации носителей тока, определенные из данных по аппроксимации эллипсоидом вращения и из эффекта Холла

составили, соответственно $p_0 = 1,85 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $p_x = 5,30 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Следовательно, концентрация носителей, рассчитанная из экспериментально определенного объема участка поверхности Ферми, заметно меньше значений, определенных из эффекта Холла, что свидетельствует о присутствии других групп носителей тока.

Таким образом, эксперименты показали, что в отличие от теоретических расчетов [1] в соединении $T\text{BiS}_2$ существует лишь одна электронная часть поверхности Ферми, центрированная в точке Γ зоны Бриллюэна. В соединении $T\text{SbTe}_2$ существуют малые дырочные участки поверхности Ферми, центрированные в точках Γ и L зоны Бриллюэна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гицу Д.В., Канцер В.Г., Малкова Н.М. Препринт ИПФ 85-3, Кишинев, 1985.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 31 марта 1988 г.