

ЧЕТНЫЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ПОЛЮ ТОК В p -InSb

А.Ю.Ткаченко, Ю.Л.Иванов

Обнаружен четный по полю электрический ток: в кристалле InSb p -типа при пропускании тока j_{\parallel} в направлении (110) возникает квадратичный по полю E ток в направлении (001), плотность которого при $E = 50$ В/см достигает 2% от j_{\parallel} .

Еще в 1964 г. Казлаускас и Левинсон¹ обратили внимание на возможность наблюдения четного по электрическому полю E тока в кристаллах без центра инверсии, определяемого тензора третьего ранга:

$$j_{\alpha} = \chi_{\alpha\beta\gamma} E_{\beta} E_{\gamma}. \quad (1)$$

В кристаллах класса T_d тензор χ имеет одну линейно независимую компоненту: $\chi_{\alpha\beta\gamma} = \chi \delta_{\alpha\beta\gamma}$, где $\delta_{\alpha\beta\gamma}$ — единичный антисимметричный тензор 3-го ранга. Соответственно, при направлении поля вдоль оси (110) должен возникать поперечный ток:

$$j_{\perp} \equiv j_{(001)} = \chi E_{(110)}^2. \quad (2)$$

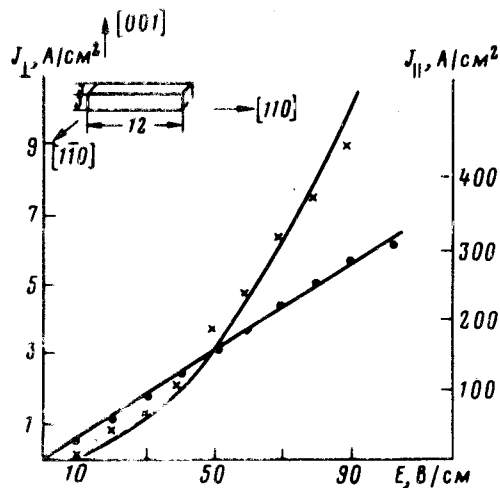
В работе² рассчитан вклад в ток (1), возникающий в простой зоне при учете неборновских ангармонических поправок к сечению рассеяния на акустических фононах и неборновских поправок к сечению рассеяния на примесях.

Наряду с баллистическим вкладом, рассмотренным в² и связанным с появлением в результате рассеяния у свободных носителей направленного импульса, квадратичного по по-

лю, имеется сдвиговой вклад, связанный со смещением носителей в координатном пространстве в процессе рассеяния³. Как отмечено Ивченко и Пикусом⁴, в кристаллах с вырожденной зоной баллистический ток возникает и при отсутствии ангармонических поправок к гамильтониану электрон-фононного взаимодействия. В слабом поле, т.е. при $eEl/k_B T \ll 1$, где l — длина свободного пробега, отношение поперечного тока (2) к току вдоль поля j_{\perp}/j_{\parallel} равно⁴.

$$j_{\perp}/j_{\parallel} = a_0 \frac{eE}{k_B T}. \quad (3)$$

Характерная длина a_0 определяется отношением констант в членах разной четности по волновому вектору q в операторе взаимодействия электронов с фононами или примесями и по оценкам⁴ не превышает $\hbar q^{-1}$, где $\hbar q$ — средний импульс, передаваемый при рассеянии.



Зависимость плотности продольного и поперечного токов от приложенного электрического поля

Для обнаружения квадратичного по полю электрического тока мы использовали образцы p -InSb с концентрацией дырок $p = 10^{16} \text{ см}^{-3}$. В соответствии с (2) образец вырезался вдоль оси $[110]$, как показано на вставке к рисунку. Ориентация образца проводилась по методике, описанной в⁵. На грани $3 \times 3 \text{ мм}^2$ напаялись индиевые электроды. Для измерения поперечного тока на одну из граней $3 \times 12 \text{ мм}^2$, перпендикулярную оси (001) , припаялись два точечных контакта площадью около $0,01 \text{ см}^2$, которые соединялись потенциометрическим сопротивлением. На противоположную грань напаялся такой же контакт, расположенный как раз между двумя верхними точечными контактами. Величина потенциометрического сопротивления была значительно больше сопротивления между контактами и подбор эквипотенциальной точки достигался перемещением ползунка потенциометра. Омичность электродов проверялась по вольт-амперным характеристикам. Измерения проводились при $T = 77 \text{ К}$. На образец подавались одиночные импульсы длительностью 5 мкс напряжением до 100 В . Было обнаружено, что при подаче на токовые электроды импульса напряжения на боковых электродах возникает импульс напряжения, знак которого не меняется при изменении знака тянущего поля. Различие в величине поперечной ЭДС для двух направлений вектора E при $V = (50 - 90)^\circ \text{ В}$ не превышало 5% .

Результаты измерений приведены на рисунке. По оси абсцисс отложено приложенное поле, по оси ординат — плотность продольного тока j_{\parallel} (правая шкала) и плотность поперечного тока j_{\perp} (левая шкала). Сплошная линия — теоретическая зависимость $j_{\perp} = \chi E^2$ при $\chi = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ А/В}^2$. Видно, что зависимость $j_{\perp}(E)$ действительно близка к квадратичной.

После описанных выше измерений на тот же образец припаивались электроды на грани, перпендикулярные оси (110). Как следует из теории, поперечный ток в этом направлении возникать не должен. В эксперименте в этом случае наблюдался импульс напряжения по крайней мере в 10 раз меньше, чем в первом случае, причем его полярность изменялась при изменении направления тока j_{\parallel} . По-видимому, этот паразитный сигнал был связан с неточностью установления эквипотенциальности измерительных электродов.

Таким образом, проделанные эксперименты свидетельствуют в пользу обнаружения квадратичного по полю тока. Величина константы a_0 , определенной согласно (3), оказалась равной $3 \cdot 10^{-6}$ см, что по крайней мере на порядок превышает ожидаемую согласно оценок ⁴. Для выяснения механизмов четного по полю тока предполагается провести детальные исследования зависимости j_{\perp} от концентрации свободных носителей и температуры.

Авторы благодарят Е.Л.Ивченко и Г.Е.Пикуса за предложение темы исследования и неоднократные полезные обсуждения.

Литература

1. Казлаускас П.-А.В., Левинсон И.Б. ФТТ, 1964, 6, 3196.
2. Baskin E.M., Bloch M.D., Entin M.V., Magarill L.I. Phys. Stat. Sol (b), 1977, 83, К97; Блох М.Д., Магарилл Л.И., Энтин М.В. ФТП, 1978, 12, 249.
3. Белиничер Б.И., Ивченко Е.Л., Стурман Б.И. ЖЭТФ, 1982, 83, 649.
4. Ивченко Е.Л., Пикус Г.Е. Данный номер, стр.
5. Бурдуков Ю.М., Седов В.Е. Кристаллография, 1968, 13, 556.