

МАГНЕТСОПРОТИВЛЕНИЕ МИКРОКОНТАКТОВ МЕТАЛЛ — ПОЛУПРОВОДНИК ТИПА A^4B^6

Д. И. Бряннов, Ю. В. Косичкин, И. М. Мельничук, В. Н. Мурзин,
А. Е. Свистов, Е. Г. Чижевский, А. П. Шотов

Проведены исследования магнетосопротивления R_k микроконтактов $A_{1-x}Pb_xSn_xSe$ ($x = 0,06$). Обнаружено удвоение частоты следования экстремумов на угловых зависимостях R_k в сильных магнитных полях при 4,2 К. Делается вывод, что это явление обусловлено анизотропией продольного магнетосопротивления полупроводника и эффектом анизотропного распределения плотности тока в области микроконтакта.

Исследование микроконтактов (МК) между металлами позволило получить обширную информацию о поверхности Ферми и фононных спектрах металлов, промежуточном состоянии сверхпроводников и т.д. Информация о свойствах МК на основе узкощелевых полупроводников крайне ограничена [1]. Между тем, их изучение представляет самостоятельный интерес. Благодаря существенно более низкой концентрации свободных носителей по сравнению с металлами (на 5-6 порядков) их циклотронный радиус r_L в узкощелевых полупроводниках в 30-100 раз меньше, чем в металлах в том же магнитном поле. Поэтому, если в металлах он обычно существенно больше диаметра МК d и сопротивление микроконтакта R_k слабо зависит от магнитного поля H , то в узкощелевых полупроводниках $r_L < d$ уже при $H > 0,1-2$ Т.

В данной работе представлены результаты изучения магнетосопротивления МК с диаметром 0,5—2 мкм на основе монокристаллов $p-Pb_{0,94}Sn_{0,06}Se$ с концентрацией $2,6 \cdot 10^{18}$ см⁻³, подвижностью $4,2 \cdot 10^4$ см²/В·с и длиной свободного пробега $l_v = 7,6 \cdot 10^{-5}$ см при 4,2 К. Исследуемые МК получались прижимом заостренной золотой проволоки к свежесколотой вдоль направления [100] поверхности монокристалла. Проволока фиксировалась разведенным клеем БФ, что позволяло существенно снизить влияние вибраций при регистрации угловых зависимостей R_k . МК обладали линейной (в первом приближении) вольт-амперной характеристикой (до токов ~ 1 мА), а их сопротивление, измеренное по стандартной методике, составляло 10—300 Ом при 4,2 К.

На рис. 1 представлена типичная зависимость $R_k(H)$ при ориентации магнитного поля вдоль оси МК. Видно, что при $H > 40$ кЭ R_k линейно возрастает с увеличением H , а в слабых полях наблюдается его квадратичный рост.

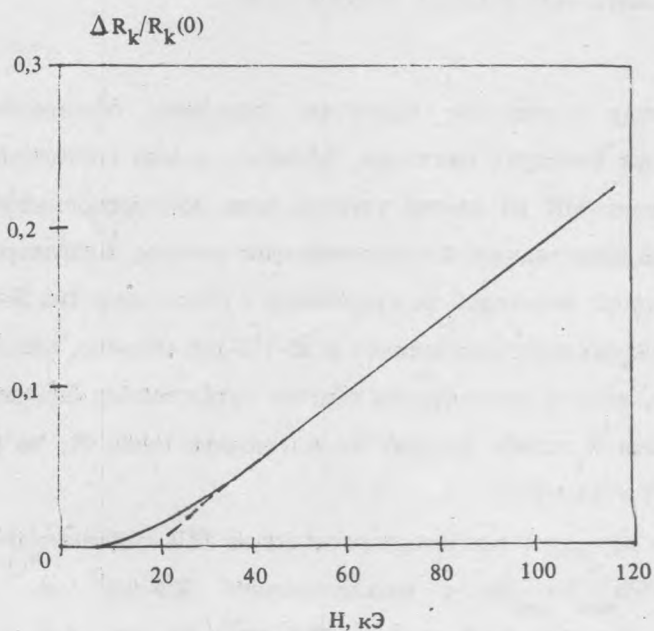


Рис. 1. Зависимость сопротивления $\Delta R_k/R_k(0) = [R_k(H) - R_k(0)]/R_k(0)$ микроконтакта $Au-Pb_{0,94}Sn_{0,06}Se$ от магнитного поля H при температуре $T = 4,2$ К. Магнитное поле направлено перпендикулярно к плоскости контакта.

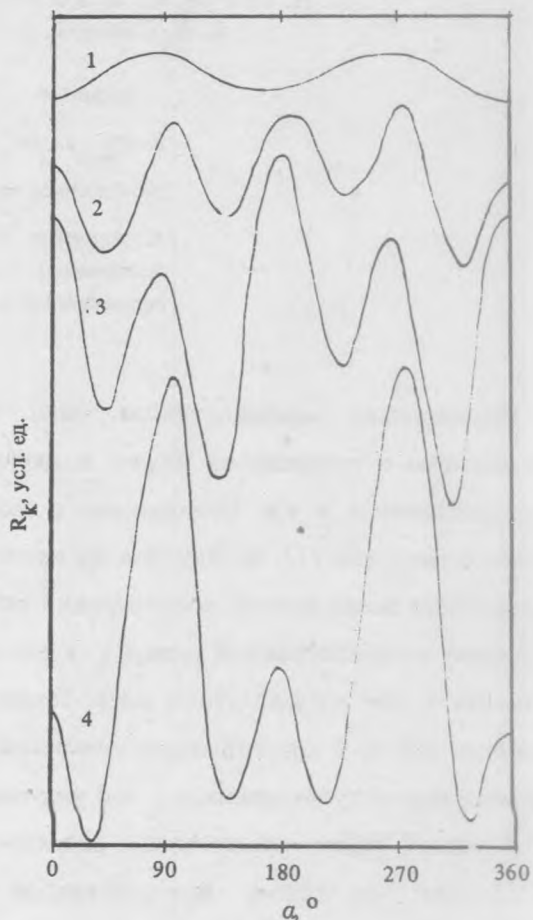


Рис. 2. Зависимость магнетосопротивления микроконтакта R_k ($d \approx 1$ мкм) между $Pb_{0,94}Sn_{0,06}Se$ и прижатой золотой проволокой от угла α между направлением магнитного поля и нормалью к плоскости контакта при $H = 7$ кЭ (1), 60 кЭ (2), 80 кЭ (3), 110 кЭ (4).

Аналогичные зависимости $R_k(H)$ наблюдались на МК на основе полуметаллов, которые также характеризуются малыми значениями γ_L в сильных магнитных полях. Теория

магнетосопротивления МК с $r_L < d$ была развита для полуметаллов при ориентации H вдоль оси контакта /2, 3/. Показано, что при $r_L \ll d$ на расстояниях порядка $d l_i / r_L$ (l_i — длина свободного пробега в области МК) от границы раздела ток течет преимущественно вдоль магнитного поля, что обуславливает линейный рост R_k при увеличении H . Для произвольной величины H [3]

$$R_k(H) = (\rho/2d) [1 + (l_i/r_L)^2]^{1/2} + R_t, \quad (1)$$

где ρ — продольное удельное магнетосопротивление полупроводника или полуметалла, R_t — туннельная составляющая сопротивления МК, которая предполагалась не зависящей от H .

Для ряда МК путем обработки $R_k(H)$ с использованием (1) определены значения d , R_t и l_i . Полученные таким образом диаметры контактов лежат в диапазоне 0,2—2 мкм, что хорошо согласуется с их значениями, полученными по аналогичной методике на металлах; значения l_i с точностью 30% совпадают с объемной длиной свободного пробега l_v . Отношение "объемной" $\rho/2d$ к "туннельной" составляющей R_t сопротивления МК было равно 0,01—0,05.

На рис. 2 представлена типичная зависимость сопротивления МК $Au-A^4B^6$ ($c \approx d \approx 1$ мкм) от угла α между направлением H и осью контакта. Зависимость $R_k(\alpha)$ в слабом поле легко объяснима. Действительно, если в области МК ток I распространяется преимущественно вдоль его оси, то увеличение R_k при изменении угла α между I и H от 0 до 90° соответствует переходу от продольного магнетосопротивления к поперечному. При увеличении H ($H \gtrsim 3$ Т, что соответствует $r_L < d$) характер зависимостей $R_k(\alpha)$ существенно изменяется (рис. 2): частота следования экстремумов удваивается.

Возможное объяснение экспериментально наблюдаемого удвоения частоты следования максимумов на зависимостях $R_k(\alpha)$ в сильном магнитном поле (рис. 2) состоит в следующем. При $\alpha = 0$ ток в окрестности МК течет преимущественно вдоль поля H /2/. Если при отклонении направления H (рис. 4) от оси МК ток по-прежнему распространяется вдоль его направления, то зависимость $R_k(\alpha)$ определяется изменением продольного магнетосопротивления ρ при варьировании направления преимущественного распространения тока в области МК относительно кристаллографических осей полупроводника. Поскольку в этом случае направления H , соответствующие $\alpha = 0$ и $\alpha = 90^\circ$, с кристаллографической точки зрения эквивалентны, то период следования максимумов в $R_k(\alpha)$ составляет 90° . При вращении тока в плоскости $\{100\}$ в A^4B^6 ρ имеет максимум при $I \parallel [100]$ и минимум при $I \parallel [110]$ /4/, что и наблюдалось экспериментально (рис. 2). Оценка амплитуды изменения $R_k(\alpha)$ на основе (1) и данных об изменении $\rho(\alpha)$ в $Pb_{1-x}Sn_xSe$ /4/ находится в удовлетворительном согласии с экспериментом, что также подтверждает правильность предложенной интерпретации.

Таким образом, изучение зависимостей $R_k(\alpha)$ МК на основе A^4B^6 позволяет исследовать $\rho(\alpha)$ приповерхностной области полупроводника с характерным размером ~ 10 мкм. Это представляет самостоятельный интерес, поскольку обычно исследование $\rho(\alpha)$ проводится с вырезанием ряда вытянутых образцов вдоль соответствующих кристаллографических направлений, что обуславливает низкую точность таких измерений из-за неидентичности исследуемых образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров Н. Л. и др. ФНТ, **16**, 1531 (1990).
2. Богачек Э. И. и др. ЖЭТФ, **92**, 930 (1987).
3. Москалец М. В. и др. ФНТ, **16**, 195 (1990).
4. Москалец М. В. и др. ФНТ, **15**, 1044 (1989).
5. Чуенков В. А. ФТП, **8**, 861 (1974).

Поступила в редакцию 20 марта 1992 г.