

ТЕМПЕРАТУРОЗАВИСЯЩИЙ МАГНИТНЫЙ ПРОБОЙ В АІ

В.И.Божко, Е.П.Вольский

Быстрый рост магнетосопротивления и его осцилляции обнаружены в АІ в поле, параллельном оси [110], при охлаждении образца ниже 1К. Начальное поле появления роста и осцилляций зависит от температуры.

Поведение компонент тензора магнетосопротивления АІ в данной работе исследовалось по характеристикам геликонов [1]. Непосредственно в эксперименте измерялась зависимость от поля частоты и ширины первого резонанса стоячих волн в монокристаллическом образце алюминия, имевшем форму пластинки с размерами $8 \times 7,4 \times 0,5$ мм³. После вырезания электроискровым способом образец был отожжен по методу [2]¹⁾ с целью понижения плотности содержащихся в нем дислокаций.

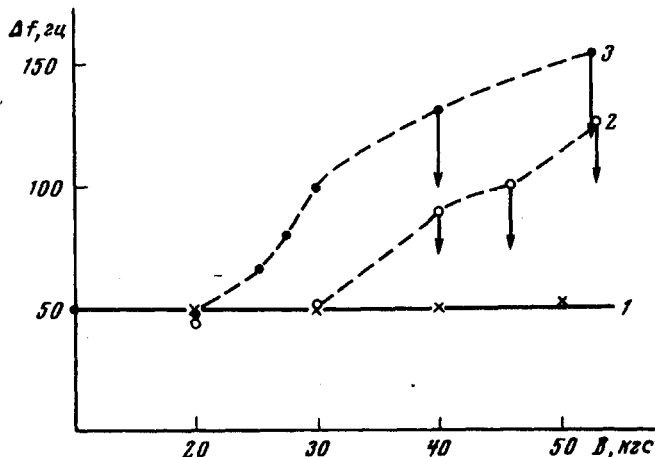


Рис. 1. Зависимость ширины резонанса геликонов в образце АІ от магнитного поля при различных температурах: 1 – 4,2, 1,4К; 2 – 0,8К, 3 – 0,4К. В || [110]

Полевая зависимость указанных выше величин была измерена при четырех температурах: 4,2, 1,4, 0,8, 0,4К в магнитном поле до 53 кгс, создаваемом сверхпроводящим соленоидом с улучшенной однородностью, $\Delta B/B \lesssim 10^{-5}$ на размере образца.

Для регистрации сигнала геликона была использована методика со скрещенными катушками [1], применявшаяся либо в режиме "геликонного генератора" [3] для непрерывной записи $f_{рез}(B)$, либо в пассивном режиме с возбуждением геликона от внешнего генератора, перестраиваемого моторчиком, для записи резонанса в функции частоты при фиксированном поле. Фиксирование поля осуществлялось переводом соленоида в "замороженный режим". Результаты измерений показаны рис. 1, 2. Наиболее эффективно поведение ширины резонанса Δf (рис.1), которая в наших условиях, соответствующих локальному пределу, пропорциональна некоторой комбинации диагональных компонент тензора

¹⁾ Такой метод отжига для повышения амплитуды эффекта де Гааза – ван Альфена предложил В.Т.Петрашов.

магнетосопротивления. При температурах 4,2 и 1,4К величина Δf с точностью до ошибки измерений не зависит от поля (кривая 1). При температурах 0,8 и 0,4К (кривые 2, 3) начиная с некоторого, зависящего от температуры, значения поля (см. рис. 1) наблюдается быстрый подъем, затем возникают осцилляции, амплитуда которых (показана стрелками на рис. 1) быстро растет.

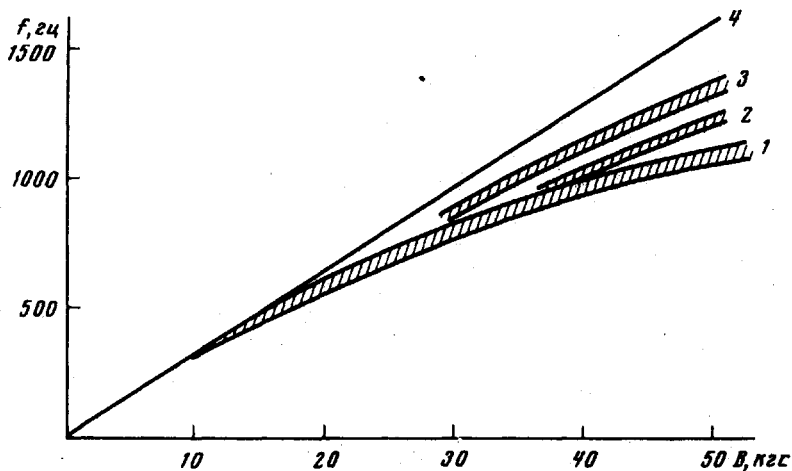


Рис. 2. Монотонная часть зависимости частоты резонанса геликонов в образце Al от магнитного поля. Амплитуда осцилляций также показана условно: 1 — 4,2, 1,4К; 2 — 0,8К; 3 — 0,4К. $B \parallel [110]$

Следует заметить, что параллельно наблюдаются сильные осцилляции резонансной частоты геликона [3], которые складываются из осцилляций от γ -орбит в третьей зоне поверхности Ферми алюминия [4] и короткопериодных осцилляций от дырочной поверхности второй зоны. Эти последние в поле около 50 кГс видны уже при 1,4К, а при 0,4К их амплитуда в этом же поле сравнима с амплитудой от γ -орбит.

Измерения Δf в различных точках на кривой $f_{\text{рез}}(B)$ показали, что короткопериодные осцилляции в пределах ошибки измерений не влияют на осцилляции магнетосопротивления. Установлено, что магнетосопротивление осциллирует с частотой, соответствующей γ -орбите на трубке, которая параллельна полю.

Картина явления, возникающая из результатов измерений ширины резонанса, дополняется данными измерений монотонной части зависимости $f_{\text{рез}}(B)$, показанными на рис. 2. Прямая линия 4 на этом рисунке изображает линейный ход этой зависимости, вычисленный для случая независимой от поля константы Холла $R = 1,02 \cdot 10^{-12} \text{ ом} \cdot \text{см}/\text{тс}$. В действительности монотонный ход $f_{\text{рез}}(B)$ сильно отклоняется от линейного при температурах 4,2 и 1,4 (кривая 1). Однако, при охлаждении образца ниже 1К отклонение от линейности уменьшается (кривые 2, 3).

Описанное выше поведение гальваномагнитных характеристик алюминия в поле, параллельном [110], при наиболее низких, исследованных нами температурах: рост и осцилляции магнетосопротивления, слабозависящая от поля постоянная Холла, весьма похоже на то, что на-

блюдалось в работе [5] при исследовании магнитного пробоя в алюминии в поле, параллельном оси [100]. Поэтому мы предполагаем, что в наших экспериментах также наблюдается магнитный пробой между дырочными орбитами второй зоны через малую электронную орбиту третьей зоны, причем наблюдаемый период осцилляций магнетосопротивления показывает, что роль малой орбиты в нашем случае играет экстремальная γ -орбита на трубке третьей зоны (рис. 3).

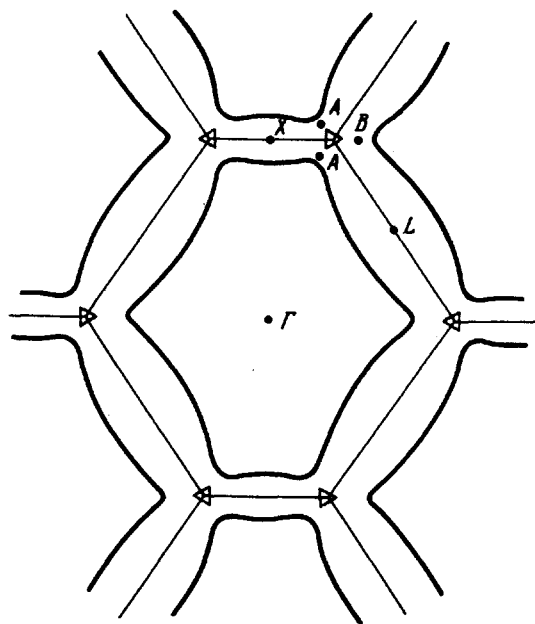


Рис. 3. Сечение поверхности Ферми Al плоскостью (110), проведенной через центр зоны Бриллюэна

Вычисления с использованием компонент псевдопотенциала Эшкрофта [6] дают величину пробойного поля в точках A (рис. 3) равную $1,6 \cdot 10^6$ гс. В точках B пробойное поле еще на порядок величины больше. Возможно, что на самом деле энергетические щели в точках A и B меньше, однако, специфика ситуации, по-видимому, определяется малостью вероятности пробоя. Вследствие этой малости время установления интерференционной амплитуды волновой функции электрона [7] велико. Если определить частоту пробоя ν_b на γ -орбите как обратную величину этого времени, то можно интерпретировать наблюдаемую нами температурную зависимость пробоя как результат конкуренции между частотой пробоя ν_b и частотой электрон-фононного рассеяния на γ -орбите [8]. В терминах частот различных процессов ситуацию в нашем образце при различных температурах можно, как нам кажется, описать с помощью следующих неравенств

$$T > 1\text{K} \quad \nu_c \gg \nu_p > \nu_b > \nu_d, \nu_i, \quad (1)$$

$$T \approx 0,8\text{K} \quad \nu_c \gg \nu_b > \nu_p > \nu_d, \nu_i, \quad (2)$$

$$T \approx 0,4\text{K} \quad \nu_c \gg \nu_b > \nu_d, \nu_i, \nu_p, \quad (3)$$

где ν_c — циклотронная частота на γ -орбите, ν_p — частота электрон-фононного рассеяния, ν_d, ν_i — частоты рассеяния на дислокациях и при-

месях. Написанные неравенства показывают, что высокая чистота алюминия и малая плотность дислокаций в образце, достигнутая упомянутым выше отжигом, существенно обеспечили возможность наблюдения эффекта.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 октября 1974 г.

Литература

- [1] Б.Максфилд. УФН, 103, 233, 1971.
 - [2] B. N \acute{o} st, G. S ϕ rensen. Phil. Mag., 13, 1075, 1968.
 - [3] Е.П.Вольский, В.Т.Петрашов. ЖЭТФ, 59, 96, 1970.
 - [4] Е.П.Вольский. ЖЭТФ, 46, 123, 1964.
 - [5] R.J.Balcombe, R.A.Parker. Phil. Mag., 21, 533, 1970.
 - [6] N.W.Ashcroft. Phil. Mag., 8, 2055, 1963.
 - [7] A.V.Pippard. Proc. Roy. Soc., A287, 165, 1965.
 - [8] В.Ф.Гантмахер. Rep. Progr. Phys., 37, 317, 1974.
-