

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АЛЮМИНИЯ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Н.Н. Сирота, В.И. Гостищев, А.А. Дрозд

Исследование теплопроводности металлов в сильных магнитных полях при низких температурах представляет интерес в связи с возможностью анализа электронного энергетического спектра и разделения электронной и решетчатой составляющих теплопроводности [1,2].

Настоящая работа посвящена изучению теплопроводности чистого алюминия в области низких температур  $6 \div 57^0\text{K}$  в поперечных магнитных полях напряженностью до  $50 \text{ кз}$ .

Объектом нашего исследования служил монокристалл алюминия, вырезанный из слитка, с сопротивлением при гелиевой температуре равным  $1,2 \cdot 10^{-10} \text{ ом}\cdot\text{см}$ . После изготовления и монтажа образца в калориметре отношение  $R_{273^0\text{K}} / R_{4,2^0\text{K}}$  составляло порядка 6000. Образец имел размеры  $3 \times 4 \times 60 \text{ мм}^3$ , его длинная ось совпадала с кристаллографическим направлением [110]. Ориентация образца определялась рентгенографически по лаузограмме.

Измерение теплопроводности проводилось методом стационарного теплового потока. Разность температур вдоль образца создавалась двумя электронагревателями, укрепленными на его концах. На длине измеряемой части, равной  $\sim 30 \text{ мм}$ , она, как правило, лежала в пределах  $0,2 \div 1,2^0\text{K}$ . Температура измерялась с помощью термометров сопротивления Аллен – Бредли. Образец в калориметре был заключен в радиационный экран, препятствующий отводу тепла с его поверхности излучением, а также по соединительным проводам. Для этого на экране создавался градиент температуры, близкий к распределению температуры на образце. В двух сечениях, проходящих через термометры, температура образца и экрана поддерживалась одинаковая, контроль осуществлялся медно-золотожелезными дифференциальными термопарами. Все соединительные провода от образца прокладывались только в этих сечениях.

Измерения производились через  $1 \div 2^0\text{K}$  при различной напряженности магнитного поля. Поле создавалось электромагнитом со сверхпроводящими обмотками. Относительная погрешность в определении теплопроводности составляла не более 2%!

При температурах 10,1 и 22,5<sup>0</sup>К теплопроводность была измерена при последовательном изменении направления вектора поперечного магнитного поля в плоскости нормальной к [110] через каждые 15<sup>0</sup>. В магнитном поле напряженностью 50 кэ теплопроводность при температуре 10,1<sup>0</sup>К имеет слабую анизотропию в кристаллографическом направлении [001]. При температуре 22,5<sup>0</sup>К анизотропия меньше.

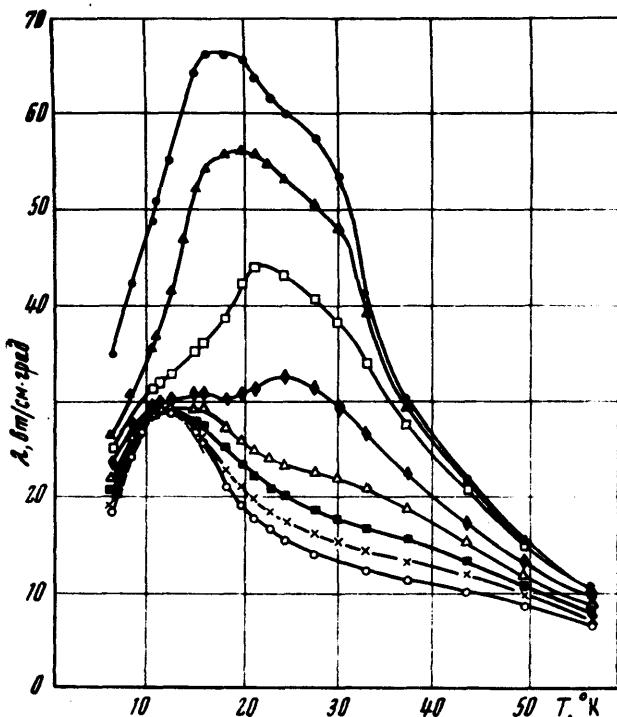


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности монокристаллического алюминия, измеренного в кристаллографическом направлении [110] в магнитных полях  $H \parallel [111]$  напряженностью от 0 до 50 кэ : ● –  $H = 0$ ; ▲ –  $H = 3,5$  кэ; □ –  $H = 5$  кэ; ◆ –  $H = 10$  кэ; △ –  $H = 20$  кэ; ■ –  $H = 30$  кэ; × –  $H = 40$  кэ; ○ –  $H = 50$  кэ. Пунктирная линия – расчетная зависимость  $\lambda_{\text{реш}}$  от  $T$

При снятии температурной зависимости магнитное поле было ориентировано в направлении [111], в котором имело место наибольшее изменение удельного сопротивления образца в функции напряженности поля. На рис. 1 показано изменение коэффициента теплопроводности исследованного монокристаллического образца в зависимости от температуры при напряженности магнитного поля, равной 0; 3,5; 5; 10; 20; 30; 40; 50 кэ. Как видно из рисунка, изменение удельной теплопроводности при постоянстве напряженности магнитного поля до 20 кэ в области температур от 6 до 57<sup>0</sup>К проходит через максимум, положение которого с возрастанием поля смещается к более высоким температурам от 18<sup>0</sup>К при  $H = 10$  кэ.

В полях 20 кэ и выше указанный максимум исчезает, но выявляется новый максимум в температурном интервале 10 + 12°К. Возрастание напряженности магнитного поля до 50 кэ ведет к снижению теплопроводности во всем температурном диапазоне, за исключением области 10 + 12°К. Уже в магнитном поле 30 кэ практически достигается насыщение – дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля не приводит к снижению теплопроводности. Выше 13°К и ниже 9°К насыщения не наблюдается вплоть до полей  $H = 50$  кэ (рис. 2). Согласно экстраполяционным оценкам, насыщение в оставшейся части температурного диапазона может наступать в магнитных полях свыше 100 кэ.<sup>1</sup>

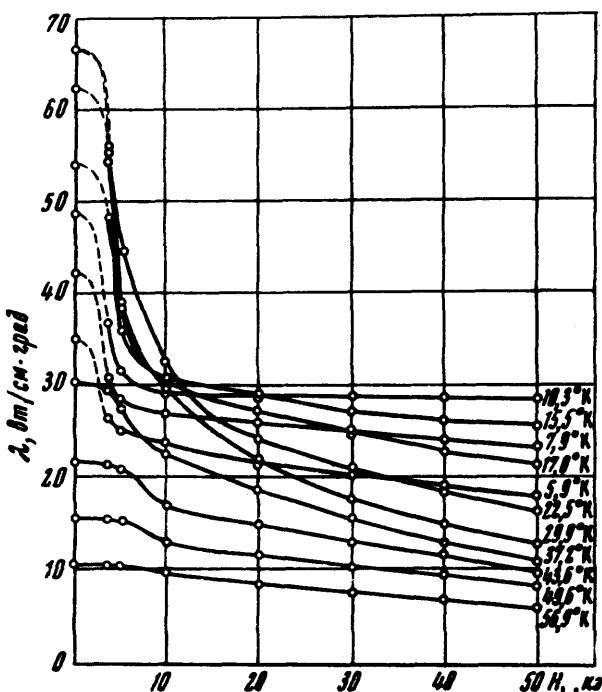


Рис. 2. Изменение коэффициента теплопроводности монокристаллического алюминия в поперечном магнитном поле

Предельно наименьшее значение удельной теплопроводности в полях выше 30 кэ на температурном участке 10 + 12°К можно рассматривать как значение решетчатой составляющей теплопроводности алюминия  $\lambda_{\text{реш}}$  при этих температурах.

В зависимости от температуры изменение решетчатой части теплопроводности в районе ее максимума может быть приближенно описано выражением:  $\lambda_{\text{реш}} = A T^3 \exp(-B T)$ , которое применительно к полученным нами данным может быть приведено к выражению:  $\lambda_{\text{реш}} = 0,38299 T^3 \exp(-0,26087 T)$ .

На рис. 1 пунктиром показано изменение решетчатой части теплопроводности алюминия в районе ее максимума, подсчитанное по приведенному выше выражению. Особенности, которые можно отметить

на кривых (рис. 1), сопоставимы с положением поверхности Ферми в первой зоне Бриллюэна, их обсуждение будет сделано позднее. В температурном интервале максимума фононной составляющей величина относительного изменения теплопроводности в магнитном поле  $H = 30$  кэ составляет величину порядка  $(\Delta\lambda/\lambda_{\text{реж}}) \cdot 100 = 75\%$ . Полученные нами результаты свидетельствуют о значительном воздействии поперечного магнитного поля на теплопроводность алюминия высокой чистоты.

Институт физики твердого тела  
и полупроводников  
Академии наук БССР

Поступила в редакцию  
14 июля 1972 г.

### Литература

- [ 1 ] А.А.Абрикосов. Введение в теорию нормальных металлов. М., изд. Наука, 1972.
  - [ 2 ] J.M.Ziman. Electrons and phonons, Oxford, 1960. (Перевод: Дж.Займан, Электроны и фононы, М., ИИЛ, 1962.)
-