

АНОМАЛИИ В ПОГЛОЩЕНИИ ПОПЕРЕЧНОГО ЗВУКА В ОЛОВЕ

В. Д. Филь, В. И. Денисенко, П. А. Безуглый

Излагаются результаты экспериментального изучения аномалий электронного поглощения поперечного звука в чистом олове в условиях $q \parallel [110]$ и $\vec{\epsilon} \parallel [\bar{1}10]$ (q — волновой вектор звука, $\vec{\epsilon}$ — вектор поляризации). Высказываются предположения о природе наблюдаемых аномалий.

В настоящее время считается хорошо установленным, что обусловленный электронами проводимости коэффициент поглощения поперечных ультразвуковых волн α , в металлах пропорционален длине свободного пробега ℓ в случае $q\ell \ll 1$ и не зависит от ℓ при $q\ell \gg 1$, причем переход от первого предельного случая ко второму сопровождается монотонным возрастанием коэффициента поглощения звука. Общее выражение для α , при произвольных значениях $q\ell$, полученное в приближении свободных электронов, дано в [1]. Учет анизотропии электронного спектра металла [2, 3] не приводит к существенным изменениям в зависимости α , от $q\ell$.

Качественное отличие от такого поведения α , нами зарегистрировано при частотах звука $20 \div 100$ МГц в монокристаллическом олове, приготовленном из слитка, для которого $R_{4,2^\circ\text{K}}/R_{300^\circ\text{K}} = (3 \div 4) \cdot 10^{-5}$, в условиях $q \parallel [110]$ и $\vec{\epsilon} \parallel [\bar{1}10]$. При изучении зависимости коэффициента поглощения от температуры было обнаружено, что кривые $\alpha(T)$ проходят через максимум, положение которого зависит от частоты звука (рис. 1). В пределах имеющихся экспериментальных данных температура $T_{\text{макс}}$, которой отвечает максимальное значение коэффициента поглощения, связана с частотой звука f соотношением $f/T_{\text{макс}}^4 = \text{const}$, хотя ветви кривых справа от максимумов хорошо следуют соотношению $\alpha, \sim T^{-3}$.

Наличие максимумов в зависимости $\alpha, (T)$ и их частотное поведение нельзя объяснить взаимодействием звука с дислокациями, поскольку высота и положение максимумов оказались одинаковыми для ряда исследованных образцов одной и той же частоты. Такая точка зрения подтверждается также исследованиями, проведенными на образцах с примесями: внесение небольшого количества примесей не снижало при $T = 4,2^\circ\text{K}$ коэффициент поглощения, а наоборот, увеличивало его, несмотря на уменьшение длины свободного пробега электронов. Таким образом, изменяя длину свободного пробега электронов путем введения примесей, можно получить такого же вида кривую зависимости α , от концентрации примесей какая получается при изменении температуры (см. рис. 1).

Следует отметить ряд дополнительных особенностей, наблюдаемых для поперечного звука, распространяющегося вдоль оси $[110]$ и поляризованного вдоль $[\bar{1}10]$: 1) крайне большое значение коэффициента поглощения. Так, при частоте $51,4$ МГц и $T = 4,2^\circ\text{K}$ для указанного направления поляризации $\alpha, = 80 \div 100$ дБ/см, тогда как при $q \parallel [110]$

и $\vec{\epsilon} \parallel [001]$ коэффициент поглощения составляет всего 14 *дб/см.*²) Относительно большая роль в наблюдаемом изменении коэффициента поглощения звука при сверхпроводящем переходе электромагнитной части. Так, при $q \parallel [110]$ и $\vec{\epsilon} \parallel [\bar{1}10]$ электромагнитная часть поглощения при сверхпроводящем переходе составляет 70%, тогда как для других ориентаций q и $\vec{\epsilon}$ эта величина снижается до 35 – 40%.

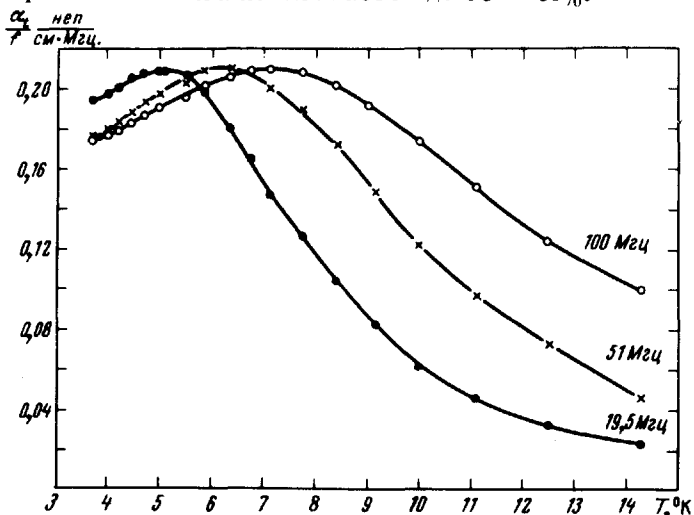


Рис. 1. Температурная зависимость α_t при $q \parallel [110]$ и $\epsilon \parallel [\bar{1}10]$ для различных частот звука

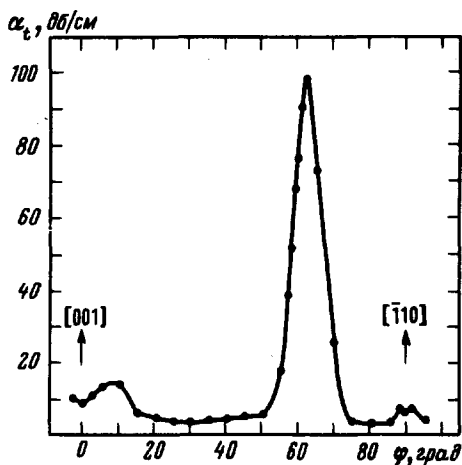


Рис. 2. Зависимость α_t от ориентации магнитного поля H относительно оси $[001]$

Попытка идентифицировать группу электронов, ответственную за указанные выше эффекты, путем изучения осцилляций геометрического резонанса, не привела к определенному заключению. Очень интересными, однако, оказались эксперименты, выполненные в сильных поперечных магнитных полях ($H \sim 8$ кэ) по исследованию зависимости коэффициента поглощения α_t от ориентации вектора относительно оси $[001]$ ¹⁾. Действительно, из диаграммы, приведенной на рис. 2, видно, что коэффициент поглощения имеет резкий максимум, когда направление вектора H образует с осью $[001]$ угол $\phi = 62,5^\circ$.

¹⁾ Поворот вектора H осуществлялся в плоскости осей $[001]$ и $[\bar{1}10]$.

Необычно при такой ориентации сильного магнитного поля также температурное поведение коэффициента поглощения: α , возрастает с понижением температуры до самых ее низких значений, достигнутых в эксперименте. Чтобы подчеркнуть особый характер поведения α , с температурой при $\phi \approx 62,5^\circ$ на этом же рисунке приведена кривая $\alpha(T)$, типичная для всех других ориентаций магнитного поля. Заметим, что при наименьшей температуре, достигнутой в описываемых исследованиях ($T = 1,5^\circ\text{K}$), величина поглощения звука на длине волны ($\phi = 62,5^\circ$ и $H = 8 \text{ кэ}$) $\alpha, \lambda = 0,08 \text{ непер}$, является, по-видимому, рекордной для металлов.

Так как в сильном магнитном поле коэффициент поглощения звука пропорционален длине свободного пробега ℓ [4], а $\ell^{-1} \sim T^3$, то экспериментальные точки в координатах αT^3 должны ложиться на прямую линию, что и наблюдается с хорошей степенью точности. В таком случае результаты, приведенные на рис. 3, говорят о том, что соотношение примесного и фононного вкладов в длину свободного пробега для группы электронов, ответственной за наблюдаемые явления, существенно отличается от среднего.

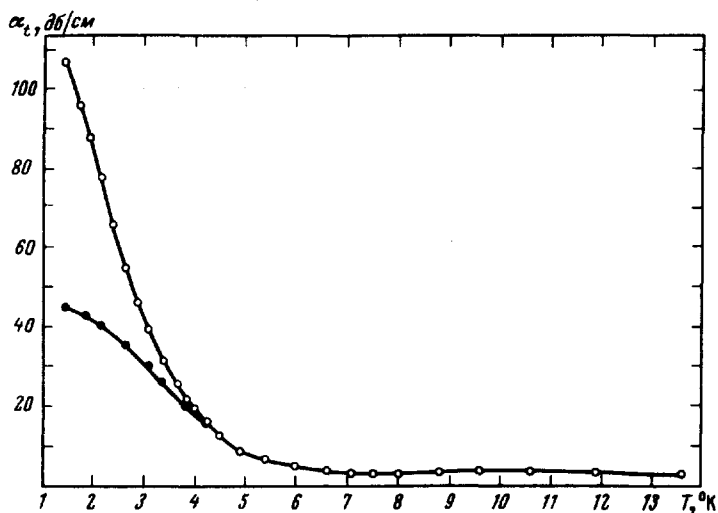


Рис. 3. Температурная зависимость α , в сильном магнитном поле: o — при $q \parallel [110]$ и $\epsilon \parallel [\bar{1}10]$. Н образует с направлением $[001]$ угол в $62,5^\circ$; • — при $q \parallel [100]$ и $\epsilon \parallel [010]$

Напомним, что для данной ориентации q и $\vec{\epsilon}$ наблюдаются значительные аномалии поведения вблизи температуры сверхпроводящего перехода [5], имеющие, по нашему мнению, ту же природу, что и описанные здесь эффекты.

Причины наблюдаемых явлений в настоящее время неясны. Можно, однако, предположить, как это уже высказывалось ранее в работе [5], что в многозонных металлах, к которым как раз принадлежит и олово, могут существовать относящиеся к различным зонам слабо связанные поверхности Ферми с существенно отличающимися характеристиками и временами релаксации носителей. Вводя еще межзонное время релаксации, представляется возможным с помощью трех параметров описать

наблюдаемые аномальные явления. Особая роль звуковых волн в данном случае заключается в том, что из-за специфики компонент деформационного потенциала удается осуществлять селективное взаимодействие звука с различными группами электронов. В пользу этого предположения говорит, например то, что особенность в поведении α_1 в сильном магнитном поле имеет место при такой его ориентации ($\phi = 62,5^\circ$), при которой достигается контакт центральных сечений 4-й электронной и 4-й дырочной зон олова в области "шеи" [6].

В заключение выражаем искреннюю признательность И.О.Кулику, В.М.Конторовичу и Н.А.Сапоговой за полезные обсуждения.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
7 августа 1973 г.

Литература

- [1] A. V. Pippard *Phil. Mag.*, **46**, 1104, 1955.
 - [2] A. V. Pippard. *Proc. Roy. Soc.*, **257**, 165, 1960.
 - [3] В.М.Конторович. Докторская диссертация, Харьков. ФТИНТ, 1972 г.
 - [4] Э.А.Канер. *ЖЭТФ*, **38**, 212, 1960.
 - [5] В.Д.Филь, В.И.Денисенко, П.А.Безуглый, Е.А.Масалитин. Письма в *ЖЭТФ*, **16**, 462, 1972.
 - [6] G. Weisz. *Phys. Rev.*, **149**, 504, 1966.
-