

О ПИКАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В ОБЛАСТИ ДОППЛЕР-СДВИНУТОГО ЦИКЛОТРОННОГО РЕЗОНАНСА

В.В.Гудков, И.В.Жевстовских

Экспериментально исследовано поглощение циркулярнополяризованных ультразвуковых волн в вольфраме в области доплер-сдвинутого циклотронного резонанса (ДСЦР). Обнаруженные в обеих круговых поляризациях пики поглощения интерпретируются как результат полевого взаимодействия упругой подсистемы с электронами проводимости.

ДСЦР электронов проводимости приводит к появлению пиков, антирезонансов и краев Кьелдааса на кривой поглощения ультразвука от магнитного поля (см. обзор ¹). Ранее считалось, что пики поглощения обусловлены деформационным взаимодействием упругой и электронной подсистем металла. Предсказанные в работе ², они наблюдаются в обеих круговых поляризациях, в пренебрежении временной дисперсией имеют место в одном и том же поле (при фиксированной частоте) и равны по величине. Также в виде пика поглощения, но лишь в одной из круговых поляризаций, проявляется доплерон-фононный резонанс (ДФР) ³, который является результатом полевого (электромагнитного) взаимодействия подсистем.

Нами было исследовано поглощение циркулярнополяризованных ультразвуковых волн в вольфраме в области G-ДФР ⁴. Эксперименты проводились при температуре 4,2 К на образце вольфрама, имеющем отношение сопротивлений $\rho_{300}/\rho_{4,2\text{K}} \gtrsim 1,5 \cdot 10^5$. Методика определения поглощения циркулярнополяризованных волн описана в ⁵. Результаты измерений приведены на рис. 1. Видно, что помимо основного максимума ДФР в поляризации (–) (резонансное поле на частоте $f = 119$ МГц обозначено как H_R^-), в полях H_r^- и H_r^+ наблюдаются дополнительные максимумы в обеих поляризациях. Для дополнительных пиков характерно несовпадение значений H_r^- и H_r^+ на данной частоте и слабое отличие от линейной зависимости положения по магнитному полю при изменении f . Отмеченные обстоятельства не позволяют отнести эти особенности к пикам деформационного поглощения.

Для выяснения природы дополнительных пиков обратимся к модельным представлениям. Рассмотрим электронный лист поверхности Ферми в виде "усеченной сферы" ⁴, а дырочный в виде цилиндра того же объема. Для такой модели зависимости компонент тензора нелокальной проводимости σ_{11} и σ_{21} от магнитного поля приведены на рис. 2. Максимум поглощения ультразвука в области ДФР соответствует выполнению равенства

$$\frac{k_0^2 c^2}{4\pi\omega} + (\text{sgn } p) \sigma_{21} = 0, \quad (1)$$

где $\text{sgn } p = \pm 1$ для (\pm) поляризации, $\omega = 2\pi f$, $k_0 = \omega/v$, v – скорость поперечного ультразвука при $H = 0$, c – скорость света. Графическое решение уравнения (1) есть пересечение кривой $\sigma_{21}(H)$ с прямыми $\pm k_0^2 c^2 / 4\pi\omega$. Из рис. 2 видно, что такое пересечение имеет место в поле H_R^- , где

$$|\sigma_{21} / \sigma_{11}| \gg 1. \quad (2)$$

Неравенство (2) допускает решение дисперсионного уравнения, соответствующее слабозагущающей электромагнитной моде – доплерону, вследствие чего резонанс является доплерон-фононным. Кроме этого, пересечение $\sigma_{21}(H)$ с прямыми $\pm k_0^2 c^2 / 4\pi\omega$ имеется и в области ДСЦР ($H < H_1$). Анализ решения дисперсионного уравнения для упругих волн в линейном приближении по коэффициенту связи упругой и электромагнитной подсистем металла при достаточно общих (не модельных) представлениях о характере зависимостей входящих в него тензорных компонент показал, что при выполнении равенства (1) в области циклотронного поглощения наблюдается резонансное увеличение электромагнитного поглощения. Отно-

сительная полуширина такой особенности оценивается выражением

$$\frac{\Delta H}{H} \approx \left| \frac{\sigma_{11}}{H \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial H}} \right|. \quad (3)$$

откуда следует, что при достаточно быстром изменении недиссипативной холловской компоненты σ_{21} от магнитного поля на кривых поглощения ультразвука могут наблюдаться пики, внешне похожие на ДФР, но проявляющиеся в обеих круговых поляризациях и при нехарактерном для ДФР соотношении: $|\sigma_{21}| \lesssim |\sigma_{11}|$.

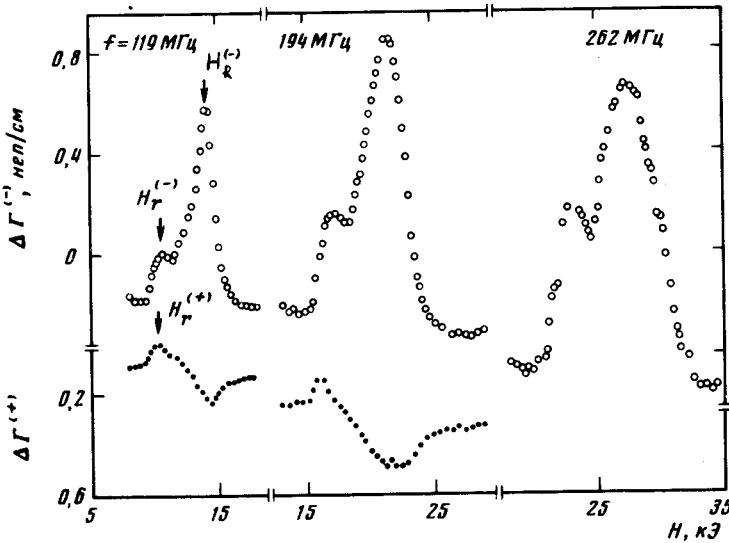


Рис. 1. Зависимости поглощения циркулярнополяризованных ультразвуковых волн от магнитного поля в вольфраме. $\Delta \Gamma^{\pm} = \Gamma^{\pm}(H) - \Gamma^{\pm}(0)$. Направление распространения ультразвука и магнитное поле совпадают с кристаллографической осью [001]

Таким образом, обнаруженные в вольфраме вблизи ДФР особенности находят непротиворечивое объяснение в рамках феноменологической теории как пики электромагнитного поглощения ультразвука в области ДСЦР. Их положение по магнитному полю позволяет восстанавливать холловскую компоненту тензора нелокальной проводимости способом, предложенным в ⁴, не только за краем, но и в области циклотронного поглощения, существенно расширяя возможности ультразвуковой спектроскопии.

Авторы признательны К.Б.Власову за просмотр рукописи и Р.Ш.Насырову за образец вольфрама, использованный в эксперименте.

Литература

1. Mertsching J. Phys. Stat. Sol., 1970, 37, 465.
2. Канер Э.А., Песчанский В.Г., Привороцкий И.А. ЖЭТФ, 1961, 40, 214.
3. Tsybmal L.T., Butenko T.F. Sol. St. Comm., 1973, 13, 633.
4. Бутенко Т.Ф., Вицлинкин В.Т., Галкин А.А., Гришин А.М., Мишин В.А., Цымбал Л.Т., Черкасов А.Н. ЖЭТФ, 1980, 78, 1811.
5. Гудков В.В., Власов К.Б. ФММ, 1978, 46, 254.

Институт физики металлов
Академии наук УНЦ

Поступила в редакцию
27 марта 1976 г.