

Письма в ЖЭТФ, том 15, вып. 2, стр. 81.– 84. 20 января 1972 г.

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ ЗАМКНУТЫХ ТОКОВ В МЕТАЛЛЕ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ПОЛЕМ СВЧ

М. С. Хайкин, С. Г. Семенчинский

В работе [1] исследованы постоянные разности потенциалов (порядка микровольт), возникающие в монокристаллах висмута при гелиевых температурах под действием радиоволн СВЧ (мощностью порядка милливатт) и постоянного магнитного поля (порядка килоэрстед). Было установлено, что в образцах висмута возбуждаются две ЭДС: 1) ЭДС Нернста – вследствие нагревания образца токами СВЧ и 2) радио-ЭДС обусловленная действием радиоволн СВЧ. Разность потенциалов измерялась между двумя точками образца, к которым измерительные провода приваривались электрической искрой. Образец – монокристаллический диск металла ~ 18 мм и толщиной $0,2 \pm 1$ мм служил дном полости полоскового резонатора, так что образец облучался полем СВЧ с одной стороны, тогда как измерительные провода были приварены к нему с другой стороны.

Как показали опыты, радио-ЭДС, направленная параллельно токам СВЧ в образце и перпендикулярно постоянному магнитному полю (такая ориентация векторов оптимальна), пропорциональна мощности СВЧ и возрастает с уменьшением толщины образца. Из этих фактов следовало, что поле ЭДС внутри образца неоднородно и что в нем должен течь вызываемый радио-ЭДС замкнутый электрический ток, который может быть замечен по его магнитному полю.

В опытах, описываемых ниже, обнаружено существование замкнутых электрических токов в монокристаллах металлов, облучаемых радиоволнами СВЧ и находящихся в постоянном магнитном поле при гелиевой температуре.

Исследуемый образец металла помещался в полосковый резонатор, подобный использованному в работе [1]. Схема расположения основных деталей прибора дана на рис. 1. Токи СВЧ J текут в полоске Π и в ее отражении в образце O вдоль длины полоски, равной половине длины волны СВЧ поля ($\lambda \approx 1,4$ см). (В том же направлении действует радио-ЭДС. Приемная индукционная катушка K (400 витков ПЭЛ 0,05, длина 3 мм, сечение ~ 30 мм²) находится под центром образца на расстоянии $\sim 0,5$ мм от его поверхности в тонком проводящем экране \mathcal{E} , исключающем емкостную связь катушки с образцом. Концы катушки присоединены ко входу усилителя с синхронным детектором на частоту 15 кГц; уровень шумов схемы $\sim 0,3$ нВ что соответствует амплитуде магнитного потока в катушке $\sim 10^{-9}$ Гс·см².

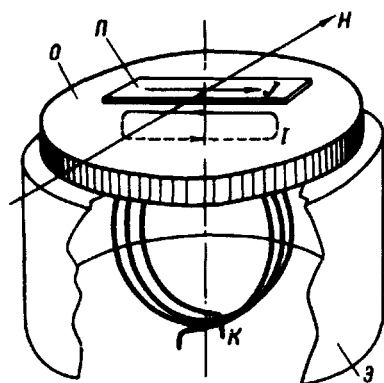


Рис. 1

Принимаемый катушкой переменный магнитный поток создается замкнутым током I (рис. 1), возбуждаемым в образце СВЧ излучением клистрона, модулируемого меандром с частотой 15 кГц.

На рис. 2 приведена запись сигнала в эксперименте с монокристаллом висмута. Шкала Φ оси ординат есть амплитуда принимаемого измерительной катушкой потока; шкала I получена в результате следующей калибровки. На место образца была помещена катушка, моделировавшая находящуюся под полоской часть образца, в которой, как предполагается, течет ток I . Через эту катушку пропускался известный ток i частоты 15 кГц, создавший в измерительной катушке калибруемый сигнал Φ . Ток $I_1 = ni$ пересчитан от n витков модельной катушки к одному витку. Таким образом шкала I_1 позволяет оценить силу замкнутого тока I , текущего в образце.

Наблюдаемый сигнал Φ пропорционален мощности СВЧ. Повышение температуры ведет к уменьшению амплитуды Φ и разрешению пиков квантовых осцилляций и магнитоплазменных резонансов. Сигнал максимален при $H \perp J$ и падает до нуля при повороте поля к направлению $H \parallel J$; при этом анизотропия кристалла V_i в базисной плоскости сказывается слабо. Время установления Φ не превосходит 10 мксек.

Обнаруженное явление возбуждения полем СВЧ постоянных замкнутых токов в металлах, очевидно, находится в прямой связи с возбуждением постоянных ЭДС, некоторые возможные механизмы возникновения которых обсуждались в статье [1]. В последнее время в работах [2, 3] анализировались некоторые случаи, в коих замкнутые токи должны возникать внутри металла. Однако, численные оценки не приводят к удовлетворительному согласию с экспериментом. Поэтому вопрос об объяснении обнаруженного явления остается открытым.

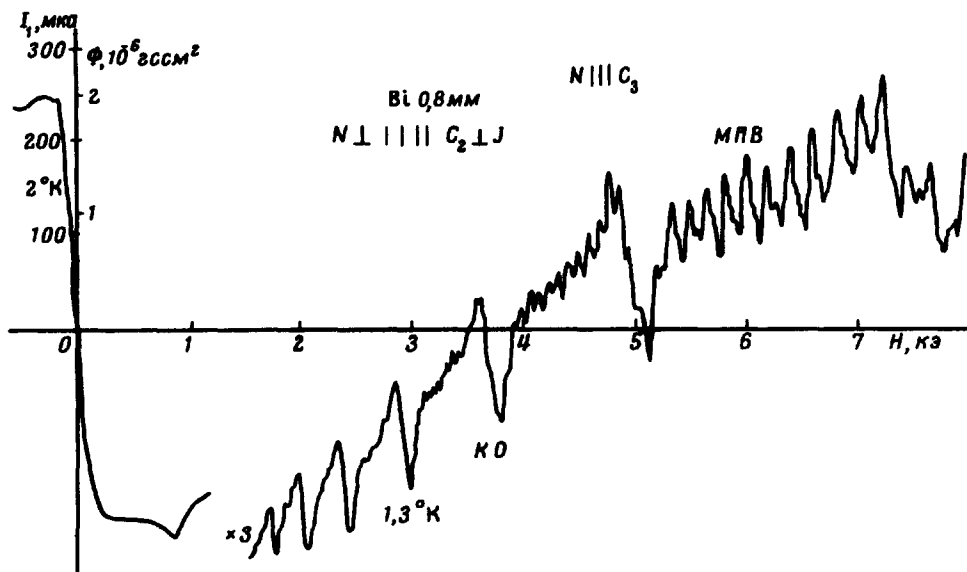


Рис. 2

Следует подчеркнуть весьма существенные методические достоинства исследования магнитного поля токов в образце по сравнению с измерением разностей потенциалов. Устранение гальванических контактов к образцу спасает монокристалл от повреждения, исключает помехи со стороны контактных разностей потенциалов и потенциальных ЭДС (которые не могут вызвать вихревых токов в образце), облегчает изучение анизотропии эффекта. В том же случае, когда возникающая в металле ЭДС действует в режиме короткого замыкания, никаких разностей потенциалов на образце нет и наблюдение магнитного поля текущих в образце токов является единственным методом их обнаружения.

П.Л.Капице авторы благодарны за внимание к работе, М.И.Каганову, И.Я.Краснополюну, В.М.Пудалову, С.М.Черемисину и В.С.Эдельману — за обсуждение.

Литература

- [1] М.С.Хайкин, А.Ю. Якубовский. ЖЭТФ, 60, 2214, 1971.
 - [2] Л.Э.Гуревич, Е.Ф.Шендор. ЖЭТФ, 57, 1699, 1969.
 - [3] М.А. Леонтович, В.Хаит. Письма в ЖЭТФ, 13, 579, 1971.
-