

НАБЛЮДЕНИЕ СПИНОВОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ МЕТАЛЛА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Л.И.Медведев, Р.Г.Мустафин, И.Г.Замалеев,

Э.Г.Харахашьян

Явление селективной спиновой прозрачности в металле впервые наблюдается в импульсном режиме. Обсуждены особенности нестационарного метода, определены кинетические характеристики электронов проводимости в литии.

Для исследования парамагнитного резонанса электронов проводимости (ПРЭП) в металлах успешно используется так называемый метод прохождения, в котором резонансное наблюдение спин-системы электронов проводимости (ЭП) осуществляется на одной поверхности плоскопараллельного образца, а регистрация сигнала на противоположной. В основе этого метода лежит явление селективной прозрачности металлов, связанное с диффузионным переносом спиновой намагниченности ЭП вглубь металла на расстояние существенно превышающее глубину скин-слоя ¹. До настоящего времени это явление наблюдалось в ста-

ционарном режиме (см., например, обзоры ²). Было показано, что метод прохождения об-
ладает рядом преимуществ, позволивших исследовать металлы, недоступные традицион-
но методу ПРЭП, и наблюдать некоторые спин-волновые эффекты.

В данной работе сообщается о первом наблюдении спиновой прозрачности металла в
импульсном режиме. Теория импульсной спиновой прозрачности была развита в работе ³.

Для наблюдения ПРЭП на прохождении в импульсном режиме была создана установка,
включающая в себя генератор на основе магнетрона (мощность в импульсе $7 \cdot 10^3$ Вт, частота
 $9,4 \cdot 10^9$ Гц, длительность импульсов $30 \div 100$ нс), волноводный тракт с развязкой более
150 дБ, передающий и приемный резонаторы, систему регистрации с накоплением на осно-
ве мини-ЭВМ. В качестве образцов использовался металлический литий, напыленный в ва-
кууме в виде пленок с толщинами 20, 25, 35 мкм. Пленка служила общей стенкой передаю-
щего и приемного резонаторов.

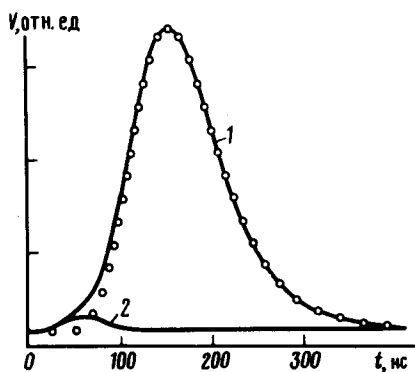


Рис. 1. Кривая 1 — сигнал индукции ЭП
пленки лития толщиной 35 мкм, изме-
ренный методом прохождения при ком-
натной температуре и величине постоян-
ного магнитного поля H_0 соответствующей
резонансному значению. Кривая 2 —
импульс передатчика, наблюдаемый при
сильной расстройке H_0 от резонансного
значения. Кружочками показана теорети-
ческая форма сигнала индукции $W(t)$ для
значений $d = 35$ мкм, $T_V = 40$ нс, $D =$
 $= 12 \text{ см}^2/\text{с}$

На рис. 1 показан типичный сигнал спиновой индукции, регистрируемый в приемном ре-
зонаторе, при возбуждении передающего резонатора одиночными импульсами с длительностью
30 нс (кривая 1). Кривая 2 на рис. 1 соответствует "паразитному" сигналу, связанному с
мощностью, просачивающейся в приемный резонатор, минуя спиновой канал.

Теоретическая форма сигнала индукции в режиме прохождения от бесконечно короткого
импульса генератора дается выражением ³:

$$V(t) = A \frac{1}{\sqrt{t}} \exp \left\{ - \frac{d^2}{2Dt} - \frac{t}{T_V} \right\}, \quad (1)$$

где A — не зависящий от времени коэффициент, d — толщина пленки металла, T_V — время
спиновой релаксации в объеме металла, D — коэффициент диффузии ЭП металла. Как вид-
но из выражения (1), из-за диффузии ЭП амплитуда сигнала индукции сначала возрастает
с течением времени, так как при этом происходит приток возбужденных ЭП на противо-
положную сторону пленки металла. С другой стороны, релаксация в объеме металла уменьша-
ет наблюдаемый сигнал. Для импульса конечной длительности выражение (1) должно быть

проинтегрировано по форме $f(\tau)$ — импульса генератора: $W(t) = \int_0^t f(\tau) V(t - \tau) d\tau$. Варьи-
руя параметры D и T_V в $W(t)$ можно достичь хорошего совпадения теории с эксперимен-
том (см. рис. 1). Необходимо отметить, что форма сигнала индукции несет однозначную
информацию как о величине D , так и о T_V , поскольку нарастание сигнала, в основном, оп-

ределяется коэффициентом диффузии D , а спад — временем релаксации T_V . Причем 10%-е отклонение одного из этих параметров приводит к заметному расхождению теоретической и экспериментальной кривых. Таким образом, метод импульсной прозрачности позволяет определять кинетические и релаксационные характеристики ЭП. В частности, в настоящей работе получено, что коэффициент диффузии ЭП в литии: при комнатной температуре $D = 12 \pm 3 \text{ см}^2/\text{с}^1$, что согласуется с ранее измеренными значениями ⁴.

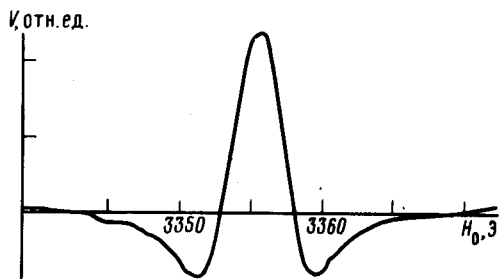


Рис. 2. Зависимость амплитуды сигнала индукции от постоянного магнитного поля H_0

В заключение отметим, что импульсный метод также полностью сохраняет ту информацию, которую обычно извлекают в стационарном методе прохождения. Для иллюстрации этого на рис. 2 приведена зависимость амплитуды сигнала индукции от расстройки резонанса (постоянного магнитного поля), которая является аналогом резонансной кривой в стационарном методе прохождения.

Авторы выражают благодарность А.Р.Кесселю, И.А.Гарифуллину, В.А.Жихареву за обсуждение результатов работы.

Литература

1. Азбель М.Я., Герасименко В.И., Лифшиц И.М. ЖЭТФ, 1957, 31, 357.
2. Lewis R.B., Carver T.R. Phys. Rev., 1967, 155, 309; Силин В. П. ФММ, 1970, 29, 681.
3. Жихарев В.А., Кессель А.Р. ЖЭТФ, 1974, 67, 1758.
4. Cherkasov F.G., Kharakhash'yan E.G., Yudanov V.F. Phys. Lett., 1975, A50, 399; Замалеев И.Г., Харахашьян Э.Г. Письма в ЖЭТФ, 1978, 27, 677.

Казанский физико-технический институт Казанского филиала Академии наук СССР

Поступила в редакцию
29 июня 1983 г.

¹) Сравнительно большая погрешность определения D связана с погрешностями измерения толщины образцов в нашем эксперименте.