

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В МАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

В. И. Салыганов, Ю. М. Яковлев, Ю. Р. Шильников

Обнаружено возникновение постоянной электродвижущей силы (ЭДС) в магнитных полупроводниках при ферромагнитном резонансе (ФМР). Величина ЭДС в несколько раз превышает ЭДС ранее наблюдавшуюся в металлических магнитных пленках при ФМР [1–3]. Наблюдаемая ранее ЭДС в HgCr_2Se_4 [4] носила невоспроизводимый и сложный характер, как отмечает сам автор, что не позволило однозначно интерпретировать полученные результаты.

В настоящей работе исследования проводились на дисках из монокристаллов литиевой шпинели с удельным сопротивлением $\rho \approx 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$ при 300°K и на монокристаллических пластинах CdCr_2Se_4 , легированных серебром с $\rho \approx 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$ при 77°K с золотыми электродами (рис. 1). Вольт-амперная характеристика контактов была линейной.

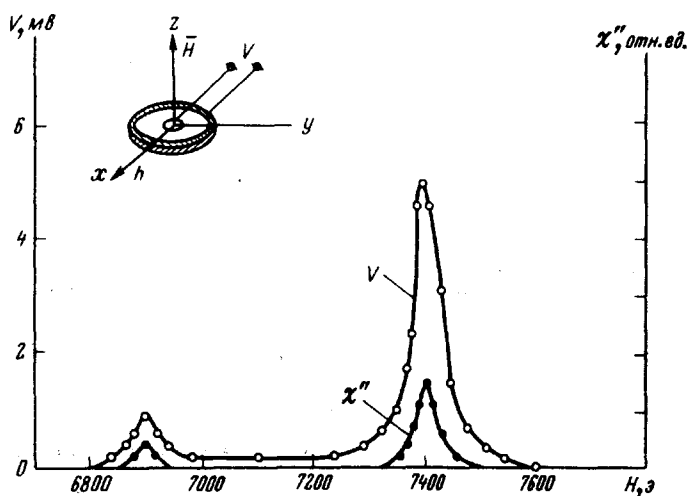


Рис. 1. Зависимость резонансного поглощения (χ'') и постоянной ЭДС (V) в волноводе от внешнего магнитного поля для поперечно намагниченного диска с осью [111] перпендикулярной плоскости диска. В верхней части показана конструкция образца с электродами

Образцы измерялись в резонаторе и в волноводе в импульсном режиме на частоте 9400 МГц при длительности импульса $1 + 10 \text{ мксек}$, частоте следования 40 Гц и максимальной импульсной мощности 10 Вт . В таком режиме образец не нагревался.

ЭДС литиевой феррошпинели измерялась при комнатной температуре, а монокристаллов CdCr_2Se_4 при 77°K .

На рис. 1 приведены зависимости резонансного поглощения (χ'') и ЭДС (V) на контактах от внешнего магнитного поля для поперечно-

намагниченного диска из Li-феррошпинели. Образец находился в волноводе в области линейной поляризации СВЧ поля. Видно, что характер изменения ЭДС от внешнего магнитного поля аналогичен характеру изменения χ'' .

Постоянная ЭДС возникает не только при однородной прецессии ($H = 7400$ э), но и при магнито статических типах ($H = 6900$ э). Знак и величина ЭДС сохранялись при изменении направления внешнего магнитного поля на противоположное (всегда в центре диска был плюс). Зависимость резонансного значения ЭДС от мощности СВЧ сигнала представлена на рис. 2. Поперечно намагниченный диск помещался в пучность магнитного поля закороченного волновода. При мощности менее 1 вт зависимость ЭДС от мощности линейная.

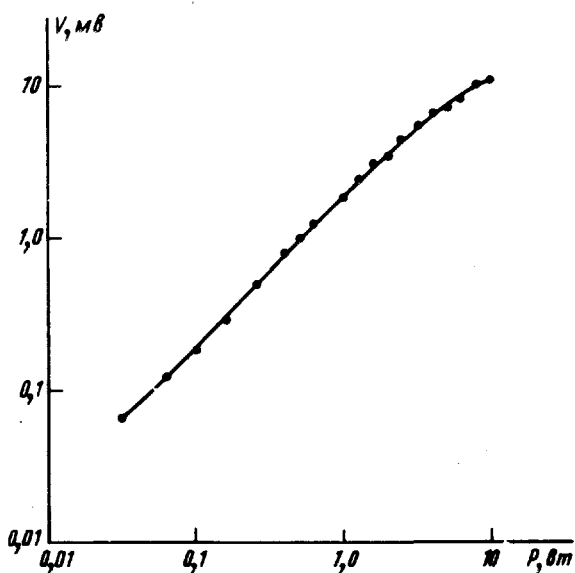


Рис. 2. Зависимость резонансного значения постоянной ЭДС от мощности СВЧ сигнала в короткозамкнутом волноводе. Образец находится в пучности СВЧ магнитного поля

Для подтверждения того факта, что причиной ЭДС является СВЧ магнитное поле, на рис. 3 приведена зависимость резонансной величины постоянной ЭДС от расстояния между поперечно намагниченными диском и короткозамкнутой стенкой волновода. Отсутствие сигнала в пучности СВЧ электрического поля указывает на магнитную природу наводимой ЭДС и отсутствие вклада за счет возможной малой нелинейности контактов.

Аналогичные результаты были получены на монокристаллах у других соединений: Mg – Mn-феррошпинели и $CdCr_2Se_4$, легированном серебром.

Измеренная величина ЭДС на три порядка превышает ЭДС полученную из оценки модели аномального СВЧ эффекта Холла [1–3]. Следовательно влиянием аномального эффекта Холла можно пренебречь.

Можно предположить несколько причин возникновения ЭДС: а) рассеяние однородной прецессии на магнитных неоднородностях ($0-k$ процессе) возбуждает спиновые волны. При этом ЭДС возникает за счет увлечения носителей заряда распространяющимися спиновыми волнами. Дан-

ный механизм увлечения теоретически рассмотрен для магнитных полупроводников в работе [5]; б) наличие градиента амплитуды переменной намагниченности в образце, за счет $s-d$ обменного взаимодействия, приводит к неоднородному подогреву электронов и за счет перераспределения электронной плотности появляется постоянная ЭДС.

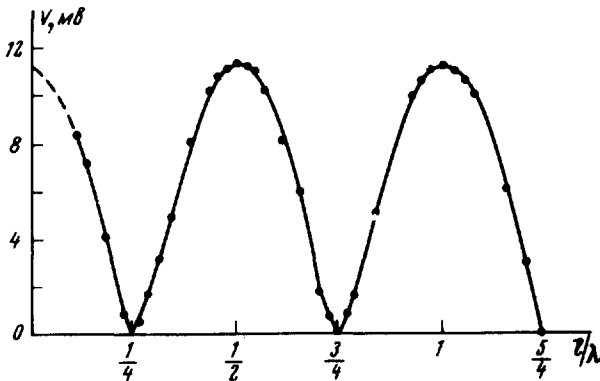


Рис. 3. Зависимость резонансного значения постоянной ЭДС от расстояния между образцом и короткозамкнутой стенкой волновода

Магнитоэлектрический резонанс (МЭР) может служить как новым методом изучения свойств магнитных полупроводников, так и по-видимому, найти применение для детектирования СВЧ сигналов (фильтр-детектор), для селективного измерения импульсной мощности, частоты и т. д.

Поступила в редакцию
13 августа 1973 г.

Литература

- [1] M.H. Seavey, Jr. J. Appl. Phys., 31, 2163, 1960.
- [2] H.J. Juretschke. J. Appl. Phys., 31, 1401, 1960.
- [3] W.G. Egan, H.J. Juretschke. J. Appl. Phys., 34, 1477, 1963.
- [4] Minori Toda. Appl. Phys. Lett., 17, 1, 1970.
- [5] H.N. Spector. Solid State Comm., 6, 811, 1968.