

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ НАМАГНИЧЕННОСТИ В ДОМЕННЫХ СТЕНКАХ В ФЕРРОМАГНИТНОМ $\text{CrBr}_3$

В.А.Тулин, М.Кому<sup>1)</sup>, Ё.Макела<sup>1)</sup>, П.Оксман<sup>1)</sup>, М.Пунккинен<sup>1)</sup>

Методом ЯМР изучена намагниченность в доменных стенках легкоосного ферромагнетика  $\text{CrBr}_3$  при различной температуре. Показано, что изменение этой намагниченности пропорционально квадрату абсолютной температуры.

Одним из основных соотношений, получаемых из теории спиновых волн, является зависимость намагниченности (подрешеток) от температуры. Получение такой зависимости в эксперименте дает возможность проверить справедливость теории спиновых волн и определить вид закона дисперсии магнонов.

В 1960 году Цубокава<sup>1</sup> обнаружил ферромагнетик-диэлектрик  $\text{CrBr}_3$ . Его магнитная система представляет собой хороший пример гайзенберговской модели. Трибромид хрома представляет собой гексагональный кристалл со структурой  $\text{Vl}_3$ . При температуре 32,5 К он переходит в ферромагнитное состояние с анизотропией типа легкая ось (ось шестого порядка). Величина эффективного поля анизотропии была определена в работе Дилона<sup>2</sup> ( $H_A = 6,8$  кЭ). Температурная зависимость намагниченности в  $\text{CrBr}_3$  была изучена методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в работах Госсарда, Жакарино и Ремейка<sup>3-5</sup>. Наблюдаемая в этих работах система линий ЯМР трактовалась как сигналы ЯМР из доменов и из доменных границ.

При исследовании ЯМР в ферромагнитном  $\text{CrBr}_3$  мы обнаружили, что в наших образцах поведение линии, отвечающей резонансу в доменных стенках, отличается от данных работ<sup>4,5</sup>. Это и является предметом данной публикации.

Кристаллы трибромида хрома, исследуемые в данной работе, были выращены в Институте физики твердого тела АН СССР Клинковой Л.А. и др. методом газотранспортной реакции<sup>6</sup>. Они представляли собой пластинки толщиной  $\sim 100$  мк и площадью порядка  $1 \text{ см}^2$ . Несколько таких кристаллов помещались в прорезь в каркасе катушки индуктивности (внутри катушки). Катушка образовывала с переменным конденсатором контур с собственной частотой в диапазоне от 40 до 65 МГц. Перестройка частоты осуществлялась изменением емкости конденсатора. В качестве измерительного прибора для наблюдения ЯМР использовался импульсный спектрометр фирмы Брукер В-КР 322S. Измерения осуществлялись в диапазоне температур от 2 до 20 К. Частота ЯМР определялась методом сравнения частоты свободной прецессии ядерной намагниченности с опорным сигналом. Точность измерения составляла  $\pm 10$  кГц на частоте порядка 50 МГц.

На рис.1 представлены результаты измерений температурной зависимости частоты ЯМР средней компоненты квадрупольно-расщепленного триплета (согласно трактовке в работе<sup>5</sup> этот триплет отвечает ЯМР в доменах) и линии, отвечающей резонансу в доменных стенках. Положение и температурная зависимость ЯМР в доменах хорошо совпадает с данными работы<sup>3</sup>. Ядерный магнитный резонанс в доменных стенках ведет себя иначе (сплюснутая кривая отвечает данным работы<sup>4</sup>). Обращает на себя внимание более слабая температурная зависимость частоты ЯМР в доменных стенках и довольно большая разница эффективных сверхтонких полей в доменах и доменных стенках при  $T = 0$  ( $\Delta H_{\text{эфф}} = 11,7$  кЭ).

Ферромагнетик в области существования доменной структуры содержит одновременно две магнитные системы разной размерности. Домены представляют собой трехмерный объект, а доменные стенки – квазидвухмерный. Толщина доменной стенки в  $\text{CrBr}_3$  довольно мала, что определяется сравнительно небольшим эффективным обменным полем и

<sup>1)</sup> Вихури Физическая лаборатория университета, г.Турку, Финляндия.

большой величиной кристаллической анизотропии. Сравнительное наблюдение свойств двух этих систем в одном объекте и составляет основной интерес к данной задаче.

На рис.2 представлена зависимость частоты ЯМР в доменных стенках от величины  $(T^2)$  и частоты ЯМР в доменах от  $(T^{3/2})$ . В этих координатах результаты эксперимента довольно хорошо описываются прямыми линиями. Что касается зависимости  $f_d(T^{3/2})$ , то она была подробно обсуждена в работе<sup>3</sup> и наши результаты близки к результатам этой работы.

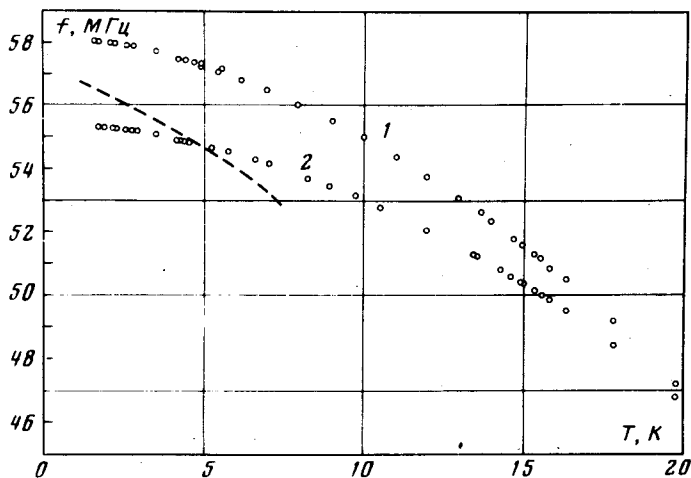


Рис.1. Температурная зависимость частоты центральной компоненты триплета ЯМР в доменных (1) и частоты ЯМР в доменных стенках (2). Пунктирная кривая соответствует данным работы<sup>4</sup>

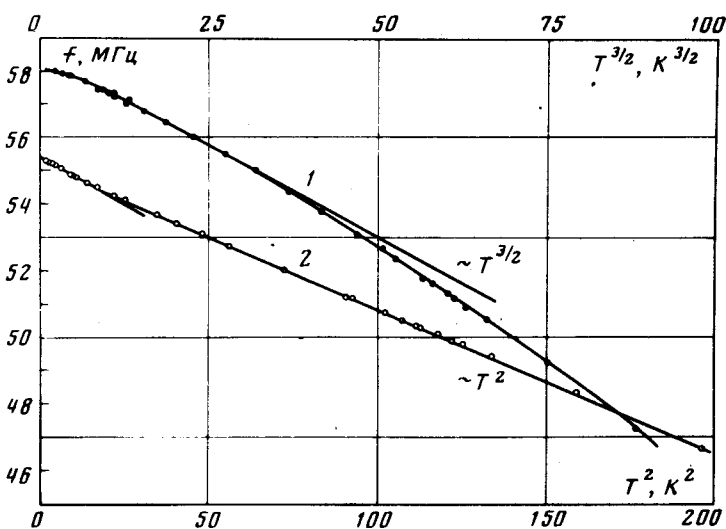


Рис.2. Зависимость частоты ЯМР в доменных стенках от квадрата температуры (2) (нижний масштаб) и частоты центральной компоненты ЯМР в доменах от  $(T^{3/2})$  (1) (верхний масштаб)

Из рис.2 видно, что намагниченность в доменных стенках ведет себя согласно зависимости

$$M(T) = M(0)[1 - aT^2].$$

Такая зависимость может быть получена теоретически для двумерной магнитной системы при линейном законе дисперсии спиновых волн. Экспериментальные данные показывают слабое изменение наклона зависимости  $f_w(T^2)$  при температуре 6 К.

Обращает на себя внимание большая разница величин  $f_d(0)$  — частоты ЯМР при  $T=0$  в доменах и  $f_w(0)$  — частоты ЯМР при  $T=0$  в стенках. В работе<sup>4</sup> обсуждалась проблема этой разницы и предполагались возможные причины ее возникновения, но оценки показывали, что все эти причины не могут объяснить указанную разницу. В наших образцах значение

этой разницы еще больше, что можно видеть из рис.1. Она составляет  $\sim 4,7\%$  от величины  $f_d(0)$ . Наиболее вероятной причиной этой разницы может быть отличие намагниченности в доменной стенке от намагниченности в домене, вызванном нулевыми колебаниями намагниченности. К сожалению, в настоящее время нам неизвестны расчеты сокращения намагниченности в доменных стенках, связанного с нулевыми колебаниями.

Важным обстоятельством в данной проблеме является отличие результатов для температурной зависимости частоты ЯМР в доменных стенках, полученных в данной работе и в работах <sup>4,5</sup>. Причина, по-видимому, лежит в различной структуре стенок. Мы не можем в настоящее время дать какое-либо удовлетворительное объяснение этого различия. В работе <sup>6</sup> порводятся сравнения параметров кристаллов  $\text{SrVg}_3$ , полученных разными авторами. Кристаллы эти довольно сильно различаются (например, по плотности), поэтому для выяснения причин несоответствия результатов необходимо провести сравнительные исследования свойств кристаллов из разных источников.

Из наших измерений следует, что в образцах, имеющих форму тонких пластин, полученных согласно <sup>6</sup>, изменение намагниченности в доменных стенках пропорционально квадрату абсолютной температуры. При  $T = 0$  намагниченность в доменных стенках на  $4,7\%$  меньше намагниченности в доменах.

В заключение авторы выражают благодарность Клинковой Л.А. за любезное предоставление монокристаллов  $\text{SrVg}_3$ .

### Литература

1. *Tsubokawa I.* J. Phys. Soc. Japan, 1960, 15, 1664.
2. *Dillon J.F.* J. Appl. Phys., 1962, 33, 1191.
3. *Gossard A.C., Jaccarino V., Remeika J.P.* Phys. Rev. Lett., 1961, 7, 122.
4. *Gossard A.C., Jaccarino V., Remeika J.P.* J. Appl. Phys., 1962, 33, 1187.
5. *Cobb C.H., Jaccarino V., Butler M.A., Remeika J.P., Yasuoka H.* Phys. Rev., 1973, 7B, 307.
6. *Клинова Л.А., Бочкарева В.А.* Изв. АН СССР, Неорг. мат., 1980, 16, 1777.