

величина ступеньки уменьшается и при некотором значении Q полностью исчезает. Такое сращивание РДГ и ФМР, как показал эксперимент, возможно только для случая, когда внешнее магнитное поле направлено строго вдоль доменных границ. Ступеньки на частотно-полевых зависимостях соответствуют полям насыщения образца.

Следует также указать еще на одну особенность резонансов в исследуемых пленках. В отличие от образцов галлий-замещенного железо-иттриевого граната, исследованных в [2, 4], в наших пленках не наблюдается расталкивания РДГ и ФМР. По-видимому, это связано с тем, что для данных пленок параметр затухания α значительно больше, чем в образцах из [2, 4], что приводит к уменьшению значения динамического размагничивающего фактора, ответственного за величину расталкивания связанных колебаний [2].

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что в пленках с субмикронными размерами доменов для случая, когда внешнее магнитное поле направлено вдоль ДГ, для малых значений фактора качества наблюдается сращивание РДГ с однородным ФМР в области полей насыщения пленки. Показано, что наличие большого числа блоховских линий в ДГ приводит к исчезновению РДГ. Установлено также, что в изученных пленках отсутствует расталкивание колебаний, соответствующих РДГ и ФМР.

Л и т е р а т у р а

- [1] Гуревич А. Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Наука, 1973. 592 с.
- [2] Morkowski J., Dötsch H., Wigen P. E., Yeh P. J. J. Magn., Magn. Mater., 1981, vol. 25, p. 39—55.
- [3] Ялышев Ю. И., Политов В. Ю., Показаньев В. Г. ФММ, 1986, т. 62, № 1, с. 61—68.
- [4] Ramesh M., Jedryka E., Wigen P. E., Shone M. J. Appl. Phys., 1985, vol. 57, N 1, p. 3701—3703.

Донецкий физико-технический
институт АН УССР
Донецк

Поступило в Редакцию
23 апреля 1987 г.

УДК 548 : 537+537.811.31

Физика твердого тела, том 29, в. 9, 1987
Solid State Physics, vol. 29, № 9, 1987

ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМЫ ЛИНИИ ЭПР ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ ОТ РАЗМЕРОВ ПЛАСТИНОК ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННОГО ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГРАФИТА

А. М. Зиятдинов, Н. М. Мищенко

В последние годы метод электронного парамагнитного резонанса электронов проводимости (ЭПР ЭП) все активнее используется при изучении графита и его интеркалированных соединений [1-5]. При этом анализ формы линий ЭПР ЭП как самого графита, так и его соединений, интеркалированных немагнитными ионами, проводится в рамках теории Дайсона [6], по стандартной методике Фехера—Кипа [7] и Пифера—Магно [8]. Однако, строго говоря, теория Дайсона ЭПР ЭП применима лишь к бесконечным металлическим пластинкам произвольной толщины и с изотропной проводимостью. Хотя эксперименты показали допустимость использования указанной теории и для анализа формы линий ЭПР ЭП металлических пластинок с конечными, но больше глубины скин-слоя размерами [7, 8], ее применимость к низкоразмерным металлам с сильной

анизотропией проводимости, в частности, к графиту и его интеркалированным соединениям акцепторного типа, характеризующимся отношением проводимости вдоль m и перпендикулярно углеродным слоям σ_a/σ_e (соответственно $3 \cdot 10^3$ [9] и $=10^5$ [10]), не очевидна.

В настоящей работе сообщается о результатах исследований формы линий ЭПР ЭП пластинок высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) в СВЧ поле X-диапазона в прямоугольном резонаторе с модой TE_{102} от геометрических размеров образца и его ориентации в постоянном магнитном поле H при 100 кГц ВЧ модуляции и 300 К. Структура электромагнитного поля в прямоугольном резонаторе с модой TE_{102} такова, что при общепринятой установке резонатора вектор электрической составляющей СВЧ поля $E \parallel H$. Пластинки ВОПГ с исходными размерами $h \times l = 0.37 \times 0.37$ см и толщиной $d = 0.045$ см были вырезаны из одного

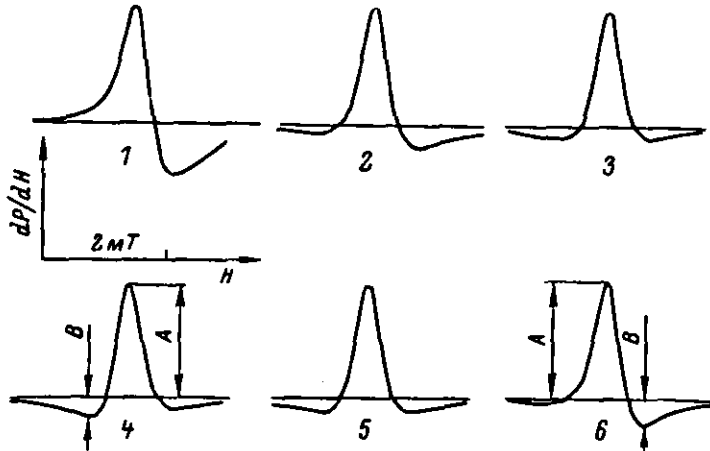


Рис. 1. Форма первой производной линии ЭПР поглощения пластинок ВОПГ для различных l (d и $h = \text{const}$).

Соответствующие приведенным кривым экспериментальные точки на рис. 2, а отмечены стрелками под теми же цифрами. $\nu = 9.52$ ГГц, $T = 300$ К, $H \parallel c$.

образца графита с $\sigma_a = (1.8 \pm 0.2) \cdot 10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ (по данным метода бесконтактного измерения электропроводности). Пластинки крепились базовой гранью на плоскую площадку штока гониометра, вырезанной по его оси, таким образом, чтобы две его боковые грани были параллельны указанной оси (и магнитной составляющей СВЧ поля H). Точность определения размеров пластинок была $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ см.

От исходных пластинок наблюдается сигнал ЭПР ЭП с аксиальной относительно c -оси графита угловой зависимостью и с $g_{\parallel} = 2.0474 \pm 0.0001$, $g_{\perp} = 2.0029 \pm 0.0001$. Параметр асимметрии первой производной ЭПР поглощения A/B , определенный способом, указанным на рис. 1, зависит от ориентации с относительно H , однако всегда больше 2.55 — значения, характерного для локализованных магнитных моментов в толстых металлических пленках с изотропной проводимостью, а форма линии «нормальная» в том смысле, что пик A появляется в меньших по отношению к пику B магнитных полях.

Уменьшение ширины образцов до $l = 9.5 \cdot 10^{-2}$ см при $d, h = \text{const}$ и $H \parallel c$ сопровождается ростом значения A/B с сохранением «нормальной» формы линии. В интервале $7 \cdot 10^{-2} \text{ см} < l < 9.5 \cdot 10^{-2} \text{ см}$ наблюдается линия с «перевернутой фазой» — пик A появляется в больших, чем пик B магнитных полях. При дальнейшем уменьшении форма линии стремится к лоренциану с $A/B \sim 1$. При $l = 9.5 \cdot 10^{-2}$ и $7 \cdot 10^{-2}$ см форма линии симметрична относительно пика A , а значения A/B максимальны (рис. 1 и 2, а). При $H \perp c$ зависимость формы линии от l аналогична вышеописанной (рис. 2, а). От высоты и толщины пластинок A/B зависит значительно

слабее, чем от l (рис. 2, б и в). При $l = \text{const}$ «фаза» формы линии от d и h не зависит.

Выявленные зависимости A/B и «фазы» формы линий ЭПР ЭП пластинок ВОПГ от l аналогичны ожидаемым по Пиферу и Магно [8] зависимостям соответствующих параметров формы линии ЭПР ЭП металлических пластинок с изотропной проводимостью от отношения толщины образцов l' к глубине их скин-слоя δ' . Сказанное с учетом слабого влияния высоты пластинок на форму линии ЭПР ЭП и отношения глубин скин-слоев, отвечающих проводимостям графита вдоль и перпендикулярно с, $\delta_s/\delta_n \sim 1.7 \cdot 10^{-2}$, дает основание считать, что при $s \perp \vec{H}$ независимо от ориентации с относительно \vec{E} ($\parallel \vec{H}$) подавляющая часть микроволновой

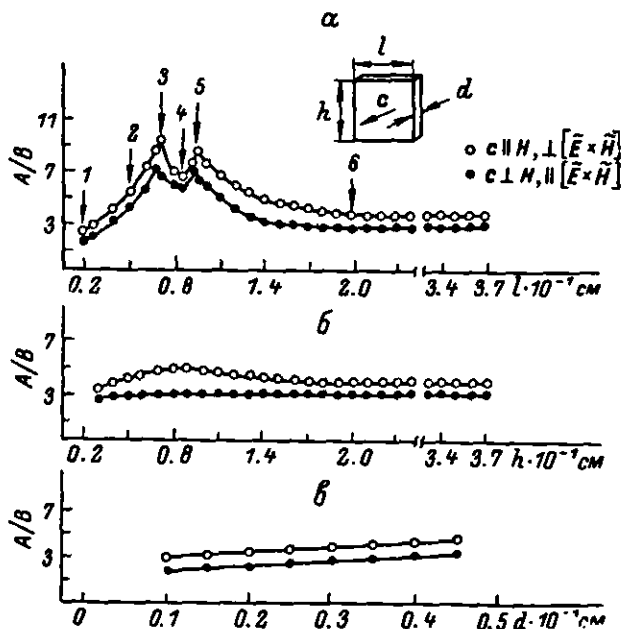


Рис. 2. Зависимость параметра асимметрии A/B первой проводящей линии ЭПР поглощения пластинок ВОПГ от l (а), h (б) и d (в).

В правом верхнем углу показана пластинка ВОПГ с обозначениями, поясняющими смысл размерных параметров.

$\nu = 9.52$ ГГц, $T = 300$ К. а: $d = 4.5 \cdot 10^{-3}$ см, $h = 3.7 \cdot 10^{-3}$ см; б: $d = 4.5 \cdot 10^{-3}$ см, $l = 3.7 \cdot 10^{-3}$ см; в: $l = h = 3.7 \cdot 10^{-3}$ см.

мощности проникает в пластинки ВОПГ через их боковые грани, параллельные \vec{H} . Отсюда следует, что в первом приближении анализ формы линий ЭПР ЭП графита можно проводить в рамках одномерной формулы Дайсона [9], по процедуре Фехера—Кипа [7]. Для исходных пластинок ВОПГ соответствующие расчеты времен электронной спин-решеточной релаксации (T_2) и диффузии электрона сквозь скин-слой (T_D) дают: $T_2 = 2.5 \cdot 10^{-8}$ с, $T_D = 5.6 \cdot 10^{-8}$ с ($s \perp H$); $T_2 = 1.5 \cdot 10^{-8}$ с; $T_D = 1.2 \cdot 10^{-8}$ с ($s \parallel H$).

Эти значения T_2 и T_D близки к соответствующим их значениям $2 \cdot 10^{-8}$ с и $6 \cdot 10^{-8}$ с, полученным ранее Вагонером для квазикристаллов графита [1]. Однако интерпретация природы T_D в настоящей работе и в [1] принципиально различны. Действительно, в [1] и в других работах по изучению ЭПР ЭП графита и его интеркалированных соединений, в частности в [2-5], T_D рассматривалось как время диффузии электрона вдоль с сквозь скин-слой δ_n , а не вдоль базовой плоскости сквозь скин-слой δ_s , как это следует из приведенных выше результатов анализа влияния размеров пластинок графита на форму линий ЭПР ЭП.

В заключение оценим σ_c . Поскольку, согласно Пиферу и Магно [8], первый со стороны меньших l' максимум кривой $A/B(l')$ и симметричная

относительно пика A линия наблюдается при $l'/\delta' = \pi$, то, опираясь на указанное соотношение и данные рис. 2, а, легко получаем: $\delta_s = (2.2 \pm 0.3) \cdot 10^{-2}$ см и $\sigma_s = (5.4 \pm 1)$ Ом $^{-1}$.см $^{-1}$. Вычисленное значение σ_s хорошо коррелирует с его значением $\sigma_s = 7$ Ом $^{-1}$.см $^{-1}$, определенным в [11], методом четырехконтактного измерения электропроводности.

Авторы выражают признательность Н. Н. Шипкову (НИИГрафит) за предоставленные для исследований образцы ВОПГ.

Л и т е р а т у р а

- [1] Wagoner G. Phys. Rev., 1960, vol. 118, N 3, p. 647—653.
- [2] Khanna S. K., Falardean E. R., Heeger A. J., Fisher J. E. Solid St. Commun., 1978, vol. 25, N 12, p. 1059—1065.
- [3] Laughlin P., Estrade H., Conard J., Guerard D., Lagrange P., El Makrini M. Physica, 1980, vol. 99B, N 1, p. 514—520.
- [4] Kawamura K., Kaneko S., Tsuzuku T. J. Phys. Soc. Japan, 1983, vol. 52, N 11, p. 3936—3942.
- [5] Estrade H. Szwarckopf, 1985, vol. 58, N 1, p. 139—161.
- [6] Dyson F. J. Phys. Rev., 1955, vol. 98, N 2, p. 349—359.
- [7] Feher G., Kip A. F. Phys. Rev., 1955, vol. 98, N 2, p. 337—348.
- [8] Pifer J. H., Magno R. Phys. Rev. B, 1971, vol. 3, N 3, p. 663—673.
- [9] Tsuzuku T. Carbon, 1979, vol. 17, N 2, p. 293—301.
- [10] Ubbelohde A. R. Proc. Roy. Soc., 1972, vol. 321, N 2, p. 445—453.
- [11] Fischer J. E., Fuerst C. D., Kim H. J. Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 1983, vol. 20, p. 169—172.

Институт химии ДВО АН СССР
Владивосток

Поступило в Редакцию
23 апреля 1987 г.

УДК 548.4

Физика твердого тела, том 29, в. 9, 1987
Solid State Physics, vol. 29, N 9, 1987

ОБ «ОБРАТНОМ» ХОДЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В КРИСТАЛЛАХ

А. В. Гектин, В. Я. Серебрянный

Известно, что развитие во времени процесса пластической деформации происходит неравномерно и проявляется в «срывах» нагрузки на деформационной кривой, называемых скачкообразной деформацией [1]. Это явление связывается с лавинообразным прорывом дуга дислокаций через стопор в ходе активного нагружения кристалла. Параметры скачкообразной деформации зависят от степени деформации [1], скорости нагружения [1], термообработки [3], примесного состава [1], режима нагружения [4]. В [5] отмечалось, что снижение напряжения в ходе после деформационной релаксации также может происходить неравномерно. То есть и в этом режиме механических испытаний пластическое течение происходит не за счет движения одиночной дислокации в неизменном поле внутренних напряжений (как обычно принимается при анализе релаксационных кривых [6]), а за счет коллективных дислокационных процессов.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей эволюции дислокационной структуры, приводящих к скачкообразной знакопеременной деформации кристаллов в условиях экспериментов по релаксации напряжений.

Исследовался ход кривых релаксации напряжений в монокристаллах типа NaCl, деформированных в диапазоне 0.5—0.75 T_m , (T_m — температура плавления, К). Особенности выбора объекта исследования и условий деформирования заключаются в том, что в ходе опыта обеспечиваются [7]: а) достаточно большая глубина релаксации напряжений (соотношение