

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

14-86-690

Н.М.Владими́рова, С.Ю.Замолодчи́кова, Е.Шупрович*

ОСТАТОЧНАЯ НАМАГНИЧЕННОСТЬ ПОЛИМЕРОВ

* Институт электротехнических исследований,
Бухарест

1986

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время резко возрос интерес к магнетизму в твердых телах, появилось много экспериментальных и теоретических работ, указывающих на большое разнообразие типов магнитного упорядочения ^{1/1}. В работе ^{2/2} измерялась остаточная намагниченность образцов из различных немагнитных материалов: меди, алюминия, тефлона, оргстекла и графита. Все они обнаружили способность намагничиваться постоянным магнитным полем и длительное время сохранять остаточную намагниченность. Было показано, что эффект не связан с ферромагнитным загрязнением поверхности образцов.

В настоящей работе приводятся экспериментальные результаты исследования влияния различных факторов на остаточный магнитный момент M тефлона /политэтрафторэтилена/ и оргстекла /полиметилметакрилата/. Абсолютная величина M исследуемых образцов мала, но высокая чувствительность экспериментальной аппаратуры позволила измерить его зависимость от поля намагничивания, от температуры отжига и временную релаксацию после намагничивания.

УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения проводились магнитометром со СКВИДом ^{3/3}, чувствительность которого по магнитному моменту составляет $3 \cdot 10^{-13} \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Гц}^{-1/2}$. Цилиндрический образец диаметром 3,5 и длиной 5 мм, проходя последовательно через две встречно-включенные катушки сверхпроводящего трансформатора магнитного потока со скоростью $1 \text{ см} \cdot \text{мин}^{-1}$, давал симметричный относительно нулевой линии сигнал, фиксируемый на самописце. Амплитуда сигнала пропорциональна магнитному моменту однородно намагниченного образца. Коэффициент пропорциональности определялся при калибровке по образцовой катушке из медной проволоки. После изготовления образцы кипятились в разбавленной соляной кислоте /тефлон/ для снятия поверхностных загрязнений, непосредственно перед измерениями кипятились в этиловом спирте, хранились в закрытых стеклянных стаканчиках при обычных комнатных условиях. Характеристики измеряемых образцов приведены в таблице.

Магнитный момент измерялся при температуре 4,2 К в нулевом магнитном поле $\leq 0,05 \text{ Э}$. Поле Земли, "замороженное" сверхпроводящим экраном, компенсировалось сверхпроводящим соленоидом. "Нулевое" поле фиксировалось по наименьшей достижимой амплитуде сигнала от образца из сильно парамагнитной соли $\text{HgCo}(\text{SCN})_4$.

Таблица

Характеристики образцов, использованных при измерениях:
 T_c - температура стеклования, T_k - температура плавления
 кристаллитов, $T_{сп}$ - температура спекания

№ образца	Вещество	Марка	Характерные температуры	Источник сведений	$M_{макс} \cdot A \cdot m^2 / H=4 \text{ кЭ}$
1	тефлон	Ф-4	$T_c = -120^\circ\text{C}$ $T_k = 327^\circ\text{C}$ $T_{сп} = 375^\circ\text{C}$	/4/	$1,8 \cdot 10^{-9}$
2	тефлон с наполнителем из стеклянных шариков				$10 \cdot 10^{-9}$
3	оргстекло	ТОСП	$T_c = 114^\circ\text{C}$	/5/	$2 \cdot 10^{-9}$

Предварительные измерения показали, что M зависит от многих факторов, в частности является функцией намагничивающего поля, температуры и времени: $M = f(H, T, t)$. Измерения велись таким образом, что один параметр менялся, а два других были зафиксированы, насколько это возможно.

ЗАВИСИМОСТЬ $M(H)$

Образцы намагничивались при 293 К в продольном поле, величина которого изменялась от 0 до 4 кЭ и измерялась датчиком Холла. Образец устанавливался неподвижно в электромагните, затем на 10 с включался ток магнита. Измерение намагниченности проводилось примерно через 2 минуты. Такое время требовалось для перемещения образца в условия измерения.

Было обнаружено, что величина остаточного магнитного момента тефлона и оргстекла зависит от величины намагничивающего поля, причем эта зависимость имеет гистерезисный характер и в полях больше 1 кЭ проявляет тенденцию к насыщению /рис.1/. При общем сохранении характера зависимости $M(H)$ в разных сериях измерений для одного и того же образца абсолютные значения магнитного момента имели значительный разброс /до 40%/. Такое поведение обнаруживалось нами и ранее на других образцах, и мы полагаем,

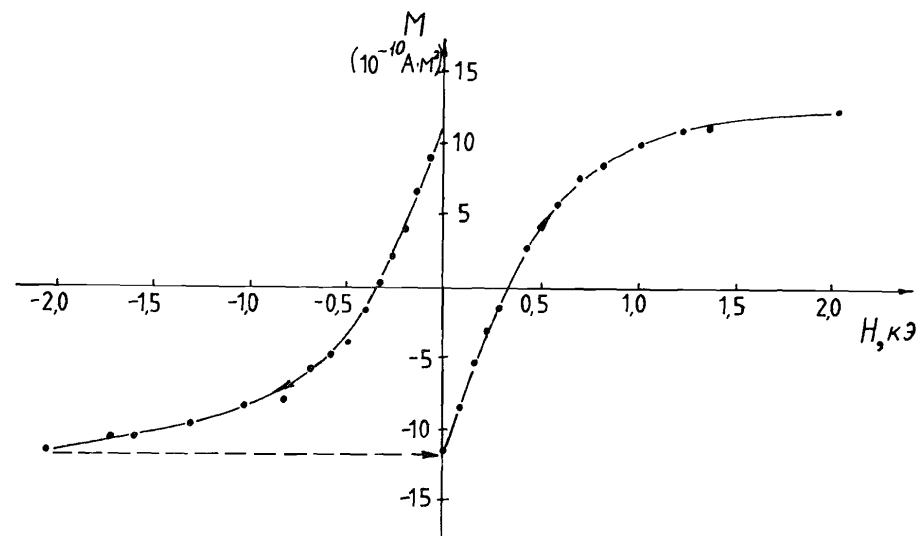


Рис. 1. Зависимость остаточного магнитного момента от намагничивающего поля для образца №1.

что оно связано с зависимостью остаточной намагниченности от каких-то других факторов /кроме H , T и t /, в том числе от "предыстории" образца.

РЕЛАКСАЦИЯ $M(t)$

Были проведены измерения временной релаксации $M(t)$ при разных температурах после намагничивания в поле 4 кЭ. Результаты для тефлона /образец № 1/ приведены на рис.2. При всех значениях температуры магнитный момент сначала резко уменьшался, а затем спадал по логарифмическому закону. Все экспериментальные данные хорошо описываются зависимостью $M(t)/M_0 = A(T) - B \ln t$ /рис.3/, где M_0 - величина магнитного момента "сразу" после воздействия магнитного поля /измеренная примерно через 2 минуты/, $A(T)$ зависит от тем-

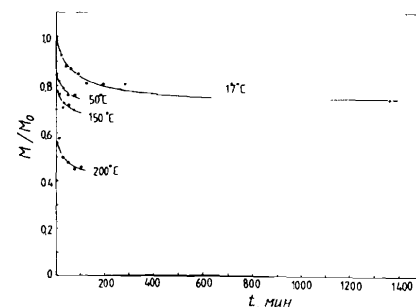


Рис. 2. Релаксация остаточной намагниченности при разных температурах для образца №1.

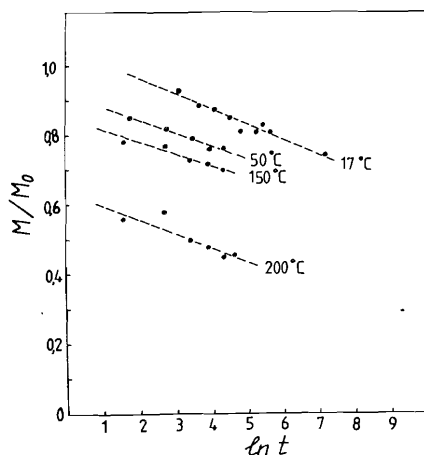


Рис. 3. Логарифмическая зависимость остаточной намагниченности от времени.

пературы и характеризует величину скачка намагниченности в начальный момент. Не исключено, что B тоже является функцией температуры.

Проводились измерения релаксации при 17°C на образцах, которые после намагничивания были выдержаны 20 суток в закрытых стаканчиках при комнатных условиях. На них не было обнаружено зависимости намагниченности от времени в течение 24 часов.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ОТЖИГ

Интересно было посмотреть температурную зависимость M при изохронном отжиге. Результаты приведены на рис. 4. Измерение в каждой температурной точке $\pm 2^\circ\text{C}$ производилось после отжига на воздухе в течение 15 минут. Такое время недостаточно, чтобы исключить влияние релаксационных процессов /рис. 2/, поэтому кривые на рис. 4 отражают лишь качественный характер процесса. Кривые 1 и 2 для тефлона снимались сразу после намагничивания, кривая 3 для оргстекла - через 18 часов после намагничивания.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Оргстекло и тефлон демонстрируют слабые ферромагнитные свойства /наличие остаточной намагниченности M /, которые не объясняются ферромагнитными загрязнениями поверхности. Характерная величина остаточного магнитного момента $/10^{13} \div 10^{14}/$ магнетонов Бора.

2. Наблюдается гистерезисная зависимость остаточной намагниченности от поля намагничивания. Характерные величины поля насыщения и коэрцитивной силы 1,5 и 0,3 кЭ соответственно.

3. Наблюдается релаксация M , которая, вероятно, осуществляется двумя процессами - быстрым и медленным и хорошо описывается зависимостью $M(t)/M_0 = A(T) - B \ln t$.

4. При отжиге не замечено явной корреляции $M(T)$ с характерными температурами материалов образцов. Однако температура, при которой у тефлона исчезает M , совпадает с температурой спекания тефлона и в $1,5 \div 2$ раза ниже, чем для меди $^{1/3}$.

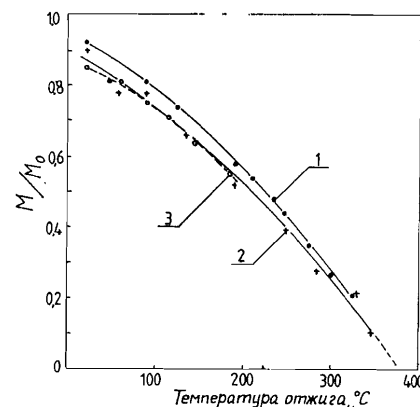


Рис. 4. Зависимость остаточного магнитного момента трех образцов от температуры при изохронном отжиге.

5. Полученные результаты, вероятно, можно объяснить существованием ансамбля мелких ферромагнитных частиц, распределенных по объему образца и демонстрирующих суперпарамагнитное поведение с широким спектром температур блокировки.

Можно также провести аналогию свойств наших образцов со свойствами спиновых стекол, которые характеризуются длительными релаксационными процессами и зависимостью намагниченности от "предыстории" образца.

Авторы выражают признательность В.М.Дробину и В.Н.Трофимову за помощь в проведении измерений и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хёрд К.М. УФН, 1984, т.142, с.331.
2. Данилов В.И., Дробин В.М., Трофимов В.Н. ОИЯИ, Д14-86-301, Дубна, 1986.
3. Дробин В.М. и др. ОИЯИ, Р8-85-190, Дубна, 1985.
4. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Пластические массы /справочник/. "Химия", Л., 1978, с.88.
5. Ван Кревелен Д.В. Свойства и химическое строение полимеров. "Химия", М., 1976, с.116.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 октября 1986 года.

Владими́рова Н.М., Замолодчи́кова С.Ю., Шупрович Е. 14-86-690
Остаточная намагниченность полимеров

Приведены результаты измерений полевой, временной и температурной зависимости остаточной намагниченности образцов из тефлона и оргстекла. Магнитный момент измерялся при 4,2 К в нулевом поле после намагничивания при 293 К в поле до 4 кЭ. Образцы имели объем $5 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3$ и типичные значения остаточного момента 10^{13} магнетонов Бора.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод Л.Н.Барабаш

Vladimirova N.M., et al. 14-86-690
Remanent Magnetization of Polymers

Field, time and temperature dependences of remanent magnetization for teflon and organic glass are presented. Measurements of the magnetic moment were made at 4.2 K in a zero field after magnetizing at 293 K in a field up to 4 kOe. The typical value of remanent moment for samples with a volume of $5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3$ was $10^{13} \mu_B$, where μ_B is the Bohr magneton.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986