

- [8] Nicollian E.H., Brews J.R. MOS Physics and Technology N.Y.: Willey, 1982, 908 p.
- [9] Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М.: Мир, 1985, 415 с.
- [10] Гергель В.А., Сурис Р.А. - ЖЭТФ, 1983, т.84, в. 2, с. 719-736.
- [11] Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984, кн. 1, 456 с.; кн. 2, 456 с.
- [12] Осипов В.В., Холоднов В.А. - ФТП, 1987, т. 21, в. 11, с. 2078-2081.
- [13] Miller S.L. - Phys. Rew, 1955, v. 99, N 4, p. 1234-1241.
- [14] Холоднов В.А. - Письма в ЖТФ, 1988, т. 14, в. 15, с. 1349.
- [15] Арцис Н.Х., Холоднов В.А. - РЭ, 1984, т.29, в. 1, с. 151-159.

Поступило в Редакцию  
26 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 20

26 октября 1988 г.

## МЕХАНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ХРУПКИХ ТЕЛ ПРИ ТРЕНИИ

А.Т. Тохметов, В.И. Веттегрень

Явление излучения света в видимой области спектра при разрушении твердых тел получило название механолюминесценции (МЛ). Это явление непосредственно связано с процессом разрушения материала, поэтому МЛ можно использовать для экспериментального исследования механизма разрушения твердых тел. МЛ, сопровождающая разрушение металлов, изучалась в работах [1-3]. Нами в качестве объектов исследования выбраны хрупкие тела: стекла и полимеры в стеклообразном состоянии, для которых закономерности МЛ не искажаются за счет пластической деформации.

В настоящем сообщении приводятся предварительные результаты исследования МЛ хрупких тел при сухом трении (трении в отсутствие смазки). Установка для изучения МЛ была построена аналогично описанной в [4]. Трение осуществлялось по схеме „вал-стержень”. Образец прижимался к стальному валу, вращающемуся со скоростью 1200 оборотов в минуту. Усилие прижима создавалось при помощи рычага и блока. Узел трения помещался в светонепроницаемую камеру. В качестве фотоприемника использовали фотоумножитель ФЭУ-79, который работал при комнатной температуре, регистрирующая аппаратура - в режиме счета фотонов [5]. Для вариации температуры трения использовали две кюветы - низкотемпературную (от 90 до 290 К) и высокотемпературную (от 290 до 590 К).

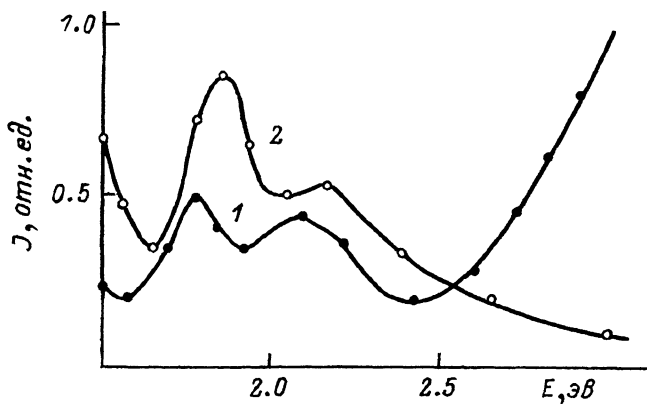


Рис. 1. Спектры МЛ при трении ПММА (1) и силикатного стекла (2).

Спектры МЛ получали при помощи набора интерференционных фильтров фирмы „Карл Цейсс“ (ГДР).

Исследовалось излучение при трении силикатного и органического (полиметилметакрилат – ПММА) стекол, а также полистирола (ПС). Уже первые опыты показали, что интенсивность МЛ при трении на несколько порядков больше, чем при других способах возбуждения. Это позволило сравнительно легко получить спектры МЛ. Они представлены на рис. 1. Видно, что наблюдается ряд интенсивных максимумов. К сожалению, в литературе не приводится каких-либо данных о спектрах МЛ, показанных на этом рисунке. Поэтому однозначное отнесение полос в настоящее время сделать трудно. Можно отметить, что максимум при 1.9 эВ наблюдали авторы [6], в спектре люминесценции силикатного стекла, возбуждаемой нейтронами. Они приписали его электронному переходу  $2p_x \rightarrow 2p_y$  в радикалах кислорода разорванной  $Si-O$  связи.

Было установлено, что интенсивность МЛ экспоненциально растет с давлением и имеет максимум при определенной температуре  $T_m$  (рис. 2). Оказалось, что значение  $T_m$  близко к температуре вязкохрупкого перехода  $T_p$  в исследуемых материалах (см. таблицу). Уменьшение интенсивности МЛ, возбуждаемой при ударе бойка о сталь, при температуре вязкохрупкого перехода наблюдали также авторы [3]. Вероятно, это явление имеет общий характер и обусловлено переносом части энергии возбуждения в безизлучательные переходы.

В некоторых твердых телах можно предположительно указать моды колебаний, в которые передается энергия возбуждения. В таблице приведены значения характеристических температур  $T_h$ , при которых размораживаются (т.е. статистика колебаний изменяется от квантовой до классической) крутильные колебания полимерных цепочек [7]. Видно, что температура, при которой интенсивность МЛ максимальна, совпадает с температурой размораживания крутильных

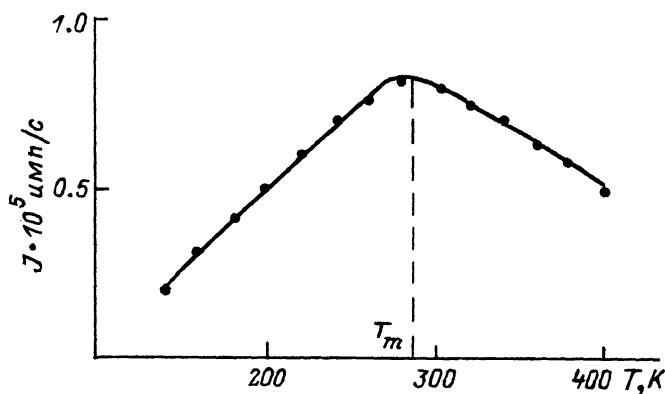


Рис. 2. Зависимость интенсивности МЛ при трении ПММА от температуры (при  $P = 20$  МПа).

Материал	$T_m, K$	$T_p, K$	$T_h, K$
ПС	310	320	310
ПММА	290	300	290
Силикатное стекло	210	220	210

колебаний. В силикатном стекле, согласно [6], при температуре 210 К размораживаются крутильные колебания немостиговых  $Si-O$  связей. При этой же температуре наблюдается максимум интенсивности МЛ при трении силикатного стекла. Вероятно, возбуждение крутильных колебаний вызывает температурное тушение МЛ.

Более полные сведения об исследуемом излучении (спектры, характерные времена), а также зависимости интенсивности МЛ от давления и скорости воздействия, будут приведены в подробном сообщении.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Абрамова К.Б., Пахомов А.Б., Перегуд Б.П., Пухонто И.Я., Щербаков И.П. - Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, № 13, с. 769-772.
- [2] Абрамова К.Б., Пахомов А.Б., Перегуд Б.П., Щербаков И.П. - Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, № 17, с. 1025-1028.
- [3] Абрамова Л.Б., Пахомов А.Б., Перегуд Б.П., Щербаков И.П. - ЖТФ, 1986, т. 56, № 5, с. 978-981.

- [4] S o d o m k a L. *Mechanoluminescence a její pouziti*. Praha, 1985, 225 s.
- [5] Т а р д е н а к Э.Э. В сб.: Методы и аппаратура для исследования люминесценции. Рига, 1985, с. 58-99.
- [6] С и л и н ь А.Р., Т р у х и н А.Н. Точечные дефекты и электронные возбуждения в кристаллическом и стеклообразном  $SiO_2$ . Рига, 1985. 244 с.
- [7] Б е р ш т е й н В.А., Е г о р о в В.М. - Высокомолек. соед. А., 1985, т. 27, № 11, с. 2440-2448.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
15 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 20 26 октября 1988 г.

## ЖИДКИЕ ФЕРРОКОЛЛОИДЫ С ВЫСОКОЙ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТЬЮ

А.Ф. П ш е н и ч н и к о в, И.Ю. Ш у р у б о р

Начальная магнитная восприимчивость известных к настоящему времени ферроколлоидов (магнитных жидкостей) не превышает 10-12 единиц. Результаты [1] показывают, однако, что возможно существование ферроколлоидов с аномально высокой восприимчивостью  $\sim 10^2$ . Такими ферроколлоидами являются капельные агрегаты, образующиеся в магнитной жидкости под действием внешнего магнитного поля. Ниже приводятся результаты измерения физических свойств вещества агрегатов, выделенного с помощью магнитной сепарации из коллоидного раствора магнетита в керосине. Методики измерения начальной восприимчивости и получения кривых намагничивания аналогичны использовавшимся в [2]. В капельных агрегатах межчастичные магнитодипольные взаимодействия проявляются наиболее сильно, поэтому анализ полученных результатов позволяет оценить максимальный вклад этих взаимодействий в статические и динамические свойства ферроколлоидов. Особый интерес при этом представляет гипотеза [3, 4] о возможном переходе магнитной жидкости в состояние дипольного стекла. Если такие переходы возможны, то они должны реализоваться в первую очередь именно в капельных агрегатах - высококонцентрированных ферроколлоидах с крупными однодоменными частицами.

При температуре  $T = 295$  К исследуемый образец имел намагниченность насыщения  $84$  кА/м, начальную восприимчивость  $\chi = 61$  и плотность  $1.76$  г/см<sup>3</sup>. Средний магнитный момент коллоидной частицы находился из гранулометрического анализа и оказался равным  $\langle m \rangle = 4.5 \cdot 10^{-19}$  А·м<sup>2</sup>, что в 2-4 раза превышает величину  $\langle m \rangle$  типичных магнетитовых коллоидов. Частотные зависимости