

05;07

## **Динамика вспышек люминесценции кварца и полиметилметакрилата при сухом трении**

© В.И. Веттегрень, А.Я. Башкарев, Р.И. Мамалимов,  
Р.К. Мамедов, И.П. Щербаков

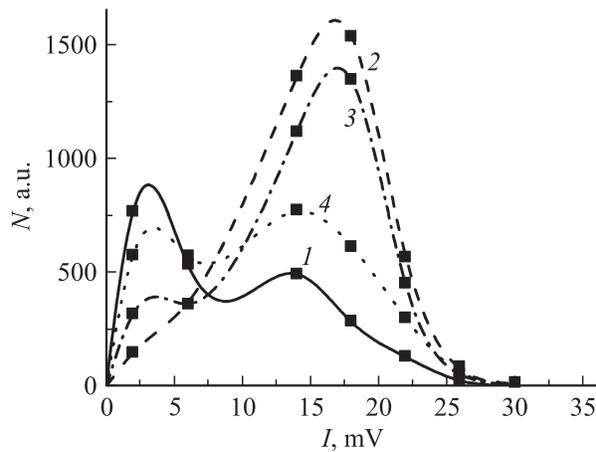
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
Санкт-Петербургский государственный университет информационных  
технологий, механики и оптики  
E-mail: Victor.Vettegren@mail.ioffe.ru

*Поступило в Редакцию 30 октября 2007 г.*

Изучена динамика распределения вспышек триболоминесценции (TL) по интенсивности при трении пластинок кристаллического кварца и аморфного полиметилметакрилата (PMMA) о стальной вал. Вспышки возникают при разрывах химических связей на берегах трещин с линейными размерами несколько миллиметров. Для кристаллического кварца распределение вспышек состоит из двух максимумов, интенсивность которых различается в  $\approx 4$  раза, а число вспышек в этих максимумах изменяется в противофазе. Для PMMA распределение не имеет ярко выраженных максимумов. Однако и в этом случае существует два ансамбля вспышек, интенсивность которых различается в  $\approx 6$  раз, а число также изменяется в противофазе. Сделан вывод, что при трении в кварце и PMMA образуется два ансамбля трещин, различающихся по линейному размеру в  $\approx 2-3$  раза.

PACS: 42.50.Vk, 42.70.Ce, M46.55.+d

Кварцевое и органическое (полиметилметакрилат — PMMA) стекла широко используются для создания оптических световодов из-за их прекрасного пропускания. Однако под воздействием механических напряжений и радиации в них образуются дефекты, рассеивающие свет. Поэтому уже более 30 лет проводятся исследования механизма образования и природы дефектов в этих материалах различными физическими методами. Так, авторы работ [1–5] при разрушении кварца и кварцевого стекла в спектрах люминесценции наблюдали появление полос 1.9 и 2.6 eV. Они были приписаны переходу между

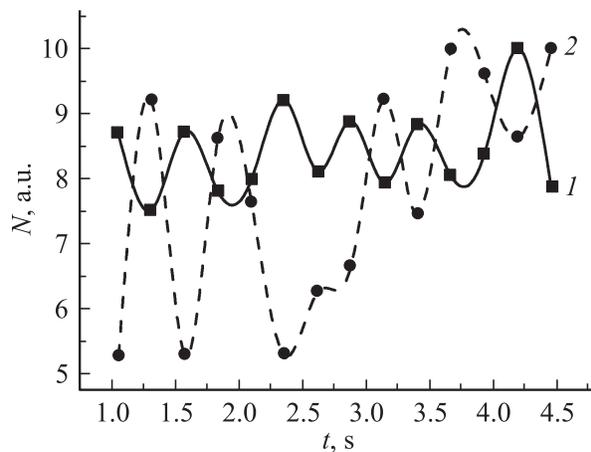


**Рис. 1.** Распределение числа сигналов TL по интенсивности при трении кварца в различные моменты времени  $t$ , s: 1 — 1; 2 — 5; 3 — 25; 4 — 35.

локальными возбужденным и основным электронными уровнями в радикалах  $\text{SiO}^\cdot$  ( $\approx 1.9 \text{ eV}$ ) и центрах  $\text{Si}^\cdot$  ( $\approx 2.6 \text{ eV}$ ), образующихся при разрывах  $\text{SiOSi}$  связей. В спектрах люминесценции PMMA при сухом трении наблюдали максимум при  $\approx 3.3 \text{ eV}$ , который был приписан переходу в ионах  $\text{R}-\text{C}^+\text{H}$ , где R — скелет полимерной молекулы [5]. Анализ формы всплеск люминесценции [6] при ударе показал, что „разорванные химические связи“ располагаются на берегах трещин с линейными размерами несколько  $\text{mm}$ . Время релаксации возбужденного состояния, т.е. время, в течение которого можно наблюдать трещины методом TL, составляет для кварца  $\approx 14 \mu\text{s}$ , а PMMA  $\approx 25 \mu\text{s}$  [4,6].

В настоящей работе описаны результаты исследований динамики распределения всплеск TL по интенсивности для монокристаллов кварца и PMMA при сухом трении.

Образцы в виде пластинок толщиной от 5 до 10  $\text{mm}$  прижимались к стальному валу, вращающемуся с частотой  $\approx 27 \text{ s}^{-1}$ . Возникающее излучение регистрировалось фотоэлектронным умножителем ФЭУ-139, сигналы с которого оцифровывались 12-битным аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). Напряжение на выходе АЦП записывалось компьютером.



**Рис. 2.** Осцилляции числа сигналов ТЛ с интенсивностью 1 (1) и 6 (2) mV при трении РММА (для удобства сравнения число импульсов, имеющих интенсивность 6 mV, увеличено в 6 раз).

На рис. 1 показано распределение интенсивностей вспышек ТЛ из монокристаллов кварца. Видно, что оно имеет два максимума при  $\approx 4$  и  $\approx 15$  mV, площадь под которыми изменяется в противофазе. Так как интенсивность вспышек ТЛ пропорциональна площади трещин, этот результат означает, что при изнашивании кварца образуется 2 ансамбля трещин, площадь поверхности которых различается в  $\approx 4$  раза, а диаметр — в  $\approx 2$  раза. Число трещин в этих ансамблях изменяется в противофазе.

Распределение интенсивностей вспышек ТЛ при трении РММА не имело ярко выраженных максимумов. Это означает, что в нем образуются трещины любых размеров, по-видимому из-за аморфной, неупорядоченной структуры полимера. Однако детальный анализ позволил выявить и в этом веществе два ансамбля вспышек, интенсивность которых изменяется в противофазе (рис. 2). Среднее значение их интенсивностей составляет  $\approx 1$  и  $\approx 6$  mV. Таким образом, и в РММА существует два ансамбля трещин, число которых при изнашивании изменяется в противофазе. Площадь их поверхности различается в  $\approx 6$  раз, а диаметр — в  $\approx 2.5$  раза.

Этот эффект можно объяснить следующим образом. В начале процесса изнашивания в основном образуются „мелкие“ трещины, формирующие первый ансамбль. Когда расстояния между ними становятся достаточно малыми, поля перенапряжений от близко расположенных трещин складываются, что способствует зарождению более крупных трещин. В результате начинают формироваться трещины, образующие второй ансамбль. Увеличение концентрации крупных трещин ведет к разрушению слоя материала около зоны трения. Разрушенный материал удаляется из этой зоны в виде мелких частиц, которые, как показали исследования при помощи оптической микроскопии, имеют размер около 1–5 мкм. После удаления разрушенного материала вновь начинается процесс накопления трещин первого ансамбля и т.д. В результате число трещин в первом и втором ансамблях осциллирует во времени.

Исследование кинетики множественного образования трещин в полимерах, металлах, гранитах и в земной коре было проведено ранее в работах [7–11]. Авторы обнаружили, что трещины в этих объектах также образуют ансамбли. Средние размеры трещин в соседних ансамблях различаются в  $\approx 3$  раза, а их концентрация изменяется в противофазе. Была предложена иерархическая модель разрушения [8], согласно которой, когда среднее расстояние между трещинами какого-либо ансамбля становится близким к утроенному среднему размеру, формируется следующий ансамбль из более крупных трещин. Описанные выше результаты исследования динамики трещин при сухом трении монокристаллов кварца и аморфного РММА согласуются с этой моделью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-08-01216а).

## Список литературы

- [1] *Силинь А.Р., Трухин А.Н.* Точечные дефекты и элементарные возбуждения в кристаллическом и стеклообразном SiO<sub>2</sub>. Рига: Зинатне, 1985. 244 с.
- [2] *Charman G.N., Walton A.J.* // J. Appl. Phys. 1983. V. 54. N 10. P. 5961–5988.
- [3] *Стрелецкий А.Н., Пакович А.Б., Бутягин И.Ю.* // Известия АН СССР. 1986. Т. 50. № 3. С. 477–482.
- [4] *Kawaguchi Y.* // Phys. Rev. B. 1995. V. 52. N 13. P. 9224–9228.
- [5] *Тохметов А.Т., Веттегрень В.И.* // ФТТ. 1990. Т. 1. С. 33–37.
- [6] *Веттегрень В.И., Башкарев А.Я., Мамалимов Р.И., Щербаков И.П.* // ФТТ. 2008. Т. 50.

- [7] *Регель В.Р., Слущкер А.И., Томашевский А.Э.* Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.
- [8] *Томилин Н.Г., Дамаскинская Е.Е., Куксенко В.С.* // ФТТ. 1994. Т. 36. В. 10. С. 3101–3112.
- [9] *Томилин Н.Г., Куксенко В.С.* // Физика Земли. 2004. № 10. С. 16–25.
- [10] *Веттегрень В.И., Куксенко В.С., Томилин Н.Г., Крючков М.А.* // ФТТ. 2004. Т. 46. № 10. С. 1793–1796.
- [11] *Веттегрень В.И., Куксенко В.С., Крючков М.А.* // Физика Земли. 2006. № 9. С. 40–45.