

05.1;05.2;12

Механоэлектрические явления в природных диэлектриках

© В.С. Куксенко, Х.Ф. Махмудов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 2 декабря 1996 г.

В работе исследована генерация и релаксация электрического поля в природных диэлектриках при их механическом нагружении и при приложении электрических потенциалов, показана их идентичность.

При механическом нагружении диэлектриков в них возникают электрические поля [1,2]. Для пьезоэлектриков это явление хорошо известно. Появление электрических полей при деформации ионных кристаллов связывается в работах [3,4] с движением заряженных дислокаций. Более сложной является трактовка этих явлений для диэлектриков, не обладающих пьезоэффектом и в которых движением дислокаций можно пренебречь. Такими материалами, в частности, являются некоторые природные диэлектрики.

В то же время интерес к электромеханическим явлениям в природных материалах (горных породах) обусловлен и практическими целями. Известно, что перед землетрясениями наблюдаются электромагнитные явления, природа которых недостаточно раскрыта. В настоящей работе сделана попытка провести совместное исследование электрической поляризации при механическом нагружении диэлектриков и при приложении к образцам слабых электрических потенциалов. В качестве основного объекта был выбран мрамор, который не обладает пьезоэффектом. Нагружение производилось в области нагрузок, когда можно пренебречь перемещением дислокаций.

Методика измерения и экспериментальные результаты.

Образцы выпиливались из природного мрамора в виде призм размерами $25 \times 25 \times 40$ мм. Схема эксперимента приведена на рис. 1. Измерение индуцированного электрического потенциала производилось бесконтактным способом высокочувствительным электро-

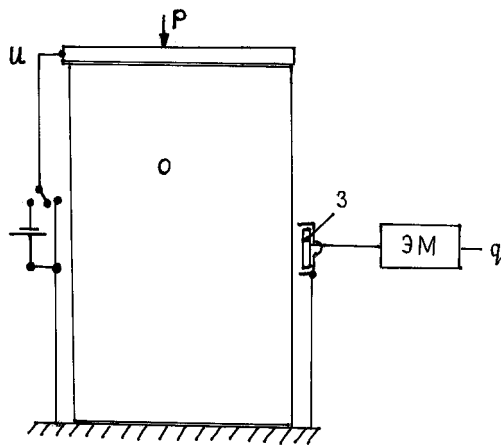


Рис. 1. Схема бесконтактного измерения электризации образца зондом (3) при приложении к образцу (О) постоянного напряжения (U) и при нагружении образца одноосносжимающей нагрузкой (P).

метром (ЭМ) (усилителем постоянного тока с большим входным сопротивлением $> 10^{14}$ Ом). Регистрирующим элементом являлся зонд (3) в виде диска диаметром 5 мм, экранированный с трех сторон для уменьшения помех. Основные параметры электрометра: полоса рабочих частот $f = 10^{-5} - 10^6$ Гц; время стекания индуцированного заряда через входную цепь ЭМ $\tau = 2 \cdot 10^4$ с; чувствительность $U_{\min} = 0.05$ мВ; дрейф нуля ~ 0.2 сВ/мин.

В наших экспериментах, как будет видно ниже, весьма важна реальная зависимость стекания индуцированного заряда. Для ее выявления проводился следующий эксперимент. Измерительный зонд располагался параллельно над металлической пластиной на расстоянии 1.5 мм. Вначале пластина заземлялась и в течение некоторого времени измерялся дрейф нуля. Затем на пластину, в момент времени t_1 (рис. 2), подавался потенциал ~ 2 В. Скачок свидетельствовал о появлении на регистрирующем зонде ЭМ индуцированного заряда q . Его стекание непрерывно измерялось. Время полуспада оказалось равным ~ 15 мин и близким расчетному. Следует отметить, что индуцированный заряд на измерительном

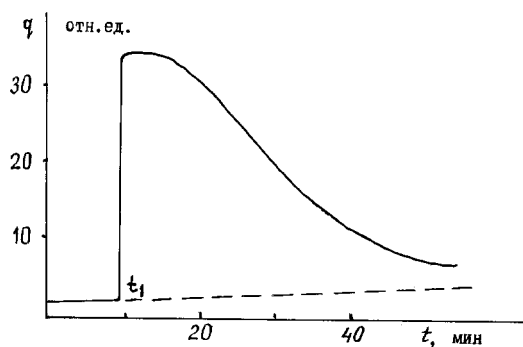


Рис. 2. Стекание заряда в используемом электрометре.

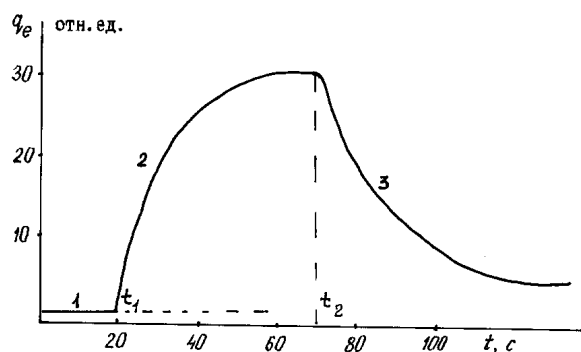


Рис. 3. Изменение во времени индуцированного заряда (q_e) при приложении к образцу электрического потенциала $U = 2$ В.

зонде появляется практически мгновенно. Для наших измерений достаточно, чтобы время нарастания его было ~ 0.1 с, а его спадание в течение 1–2 мин было незначительным.

Перейдем теперь непосредственно к измерениям на образцах. В эксперименте при электрической поляризации образец (О) устанавливался на заземленную платформу, к верхнему торцу образца прижимался медный электрод (рис. 1). Вблизи боковой поверхности образца на расстоянии 1.5 мм располагался измерительный

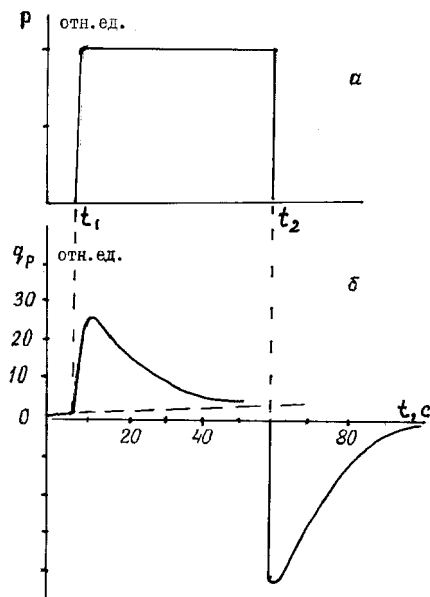


Рис. 4. Диаграмма нагружения образца (а) и изменение во времени индуцированного на зонде заряда (б).

зонд ЭМ. Вначале электрод заземлялся, а затем в момент времени t_1 (рис. 3) на электрод подавался потенциал 2 В. Индуцированный на зонде заряд нарастал до насыщения (кривая 2 на рис. 3). При последующем заземлении обоих электродов заряд релаксировал (кривая 3 на рис. 3), причем время нарастания и время спада индуцированного заряда в обоих случаях одинаково.

Рассмотрим теперь электризацию образца при его механическом нагружении. Как и в первом случае, регистрирующий зонд располагался параллельно боковой грани образца на расстоянии 1.5 мм от поверхности (рис. 1) и некоторое время измерялся дрейф нуля. Затем в момент времени t_1 (рис. 4, а) на образец подавалась одноосносжимающая нагрузка (P) и некоторое время поддерживалась неизменной. На регистрирующем зонде возникал индуцированный заряд (q_p), который затем релаксировал. Когда он практически

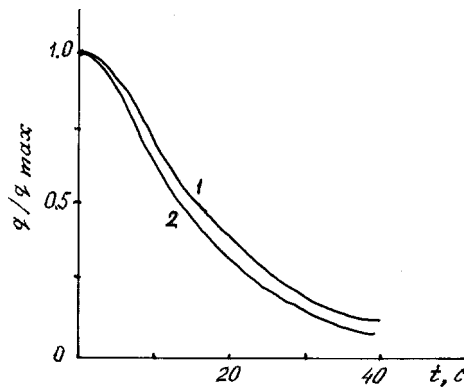


Рис. 5. Относительное изменение во времени индуцированного заряда: 1 — при приложении электрического потенциала, 2 — при механическом нагружении образца.

исчезал, в момент времени t_2 , образец разгружался. На зонде возникал индуцированный заряд противоположного знака, который затем релаксировал, причем с тем же временем полуспада, что и после нагружения.

Сравним теперь релаксацию индуцированного заряда при механическом нагружении (разгрузке) (рис. 5, кривая 1) и при приложении электрического потенциала (рис. 5, кривая 2). Для наглядности в обоих случаях значение индуцированного заряда (q) нормировано на его максимальное значение. Как видно, спадание заряда в обоих случаях практически идентично. Это свидетельствует прежде всего о том, что физическая природа носителей заряда, приводящих к релаксации электрического поля, одно и то же как при механическом нагружении, так и при приложении к образцу электрического потенциала. Кроме того, релаксацию индуцированного заряда в первом приближении можно описать кинетикой первого порядка. В дальнейшем предполагается исследовать релаксацию индуцированного заряда при различных температурах, что позволит оценить энергию активации этого процесса и более определенно обсудить природу носителей заряда.

Список литературы

- [1] *Пархоменко Э.И.* Явления электризации в горных породах. М.: Наука, 1968.
- [2] *Куксенко В.С., Килькеев Р.Ш., Мирошниченко М.И.* // ДАН СССР. 1981. Т. 250. № 4. С. 481.
- [3] *Куличенко А.Н., Смирнов Б.И.* // ФТТ. 1984. Т. 26. В. 11. С. 3294.
- [4] *Николаев В.И., Перцев Н.А., Смирнов Б.И.* // ФТТ. 1991. Т. 33. В. 1. С. 93.