

Электромагнитное излучение (ЭМИ) щелочно-галоидных кристаллов в постоянных электрических полях

Н.Д. Варамшвили, Н.Г. Хатнашвили

Эксперименты, по выяснению влияния постоянного электрического поля на спектральные характеристики ЭМИ, проводились на кристаллах NaCl. Размеры кристаллов $\sim 5 \times 5 \times 5$ мм³. Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

Устройство для нагружения и скола кристаллов представляет собой переделанный специально для этих целей микроскоп, 2 – стальной экран для экранировки нагружающего устройства от электромагнитных помех, 3 – Образец из кристалла NaCl. Образцы изготовлялись из монокристаллического слитка. Они выкальвывались по плоскости спайности (100), отжигались в течение 8 часов, 4 – серебряные электроды, 5 – нож (индентор), 6 – штырьевая антенна располагается параллельно большой грани кристалла на расстоянии ~ 2 см. Длина антенны ~ 3 см, 7 – источник высокого напряжения (ИВН-1), 8 – самописец, 9 – предварительный усилитель, 10 – импульсный анализатор спектра.

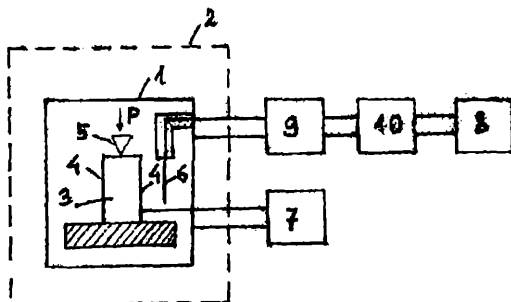


Рис.1 Блок-схема установки для исследования влияния постоянного электрического поля на ЭМИ при деформации и разрушении кристаллов.

Приложенное постоянное электрическое поле на образец менялось дискретно от 0,5кV до 3кV. Исследования кристаллов NaCl проводились в постоянном электрическом поле как при механическом воздействии на кристалл, так и без него. Кристалл в проходящем поляризованном свете, до начала механического воздействия на него, прозрачен. При воздействии индентором на кристалл, от точки приложения индентора начинают исходить светлые линии под углом 45° к противоположным берегам кристалла. Эти линии представляют собой заряженные дислокации, которые несут заряды к противоположным берегам кристалла, доходят до них и отражаются (деформационное отражение), меняя свое направление на 90° . В итоге, через некоторое время, кристалл покрывается светлыми взаимноперпендикулярными линиями. Во время нагружения кристалла, до появления трещины, наблюдается ЭМИ, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) которого представлена на рис.2. Во время

прохождения трещины наблюдается ЭМИ, похожей АЧХ но большой интенсивности, что свидетельствует в пользу дислокационного механизма ЭМИ.

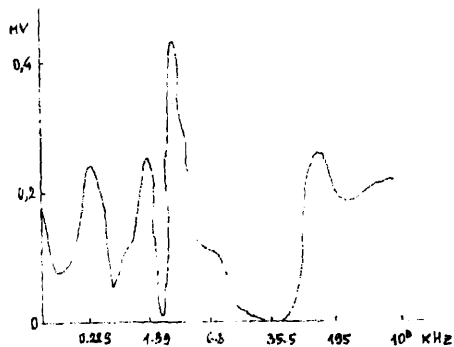


Рис.2 АЧХ ЭМИ кристаллов NaCl до появления трещины.

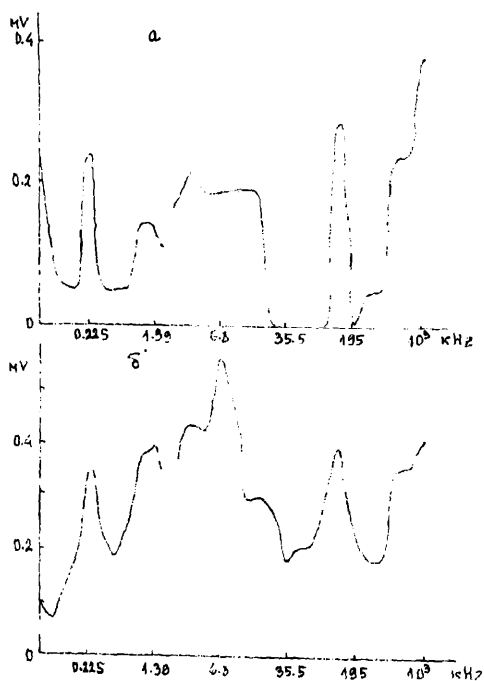


Рис.3 АЧХ ЭМИ кристаллов NaCl, а - при постоянном электрическом напряжении без механической нагрузки, б - в постоянном электрическом поле с механической нагрузкой.

При деформации кристалла NaCl, начинают двигаться дислокации, которые, из-за неоднородности реального кристалла, объединяются в полости скольжения и вызывают

просветление кристалла в поляризованном свете. Таким образом можно связать деформацию и просветление кристалла. Поэтому с помощью фотодиода и усилительного устройства фиксировалась интенсивность проходящего через кристалл поляризованного света. При мех-анической нагрузке интенсивность проходящего через кристалл света увеличивается, кристалл просветляется. Увеличение интенсивности проходящего света наблюдается и при приложении электрического напряжения. При длительном приложении электрического напряжения весь кристалл визуально просветляется (в проходящем поляризованном свете). Можно сказать что электрическое поле тоже движет дислокации, но они равномерно распределены по всему объему кристалла и не создают резких светящихся линий. Если в пост-оанном электрическом поле движутся дислокации, то должно быть ЭМИ, что мы и наблюдаем. На рис.3 представлены графики для АЧХ ЭМИ, а – при постоянном электрическом напряжении без механической нагрузки, б – в постоянном электрическом поле с механической нагрузкой и во время прохождения трещины. Как видно из рисунков, принципиальная разница в перераспределении энергии между резонансными частотами. При приложении электрического поля без механической нагрузки, наблюдается небольшое смещение АЧХ в сторону высоких частот, по сравнению с ЭМИ при механическом нагружении. Интенсивность ЭМИ тоже меньше чем при сколе. На рис.4–7 представлены результаты опытов с циклическим приложением постоянного электрического поля на образец. Приложенное электрическое напряжение повышалось от 0,5кV до 3кV, потом снижалось до 0,5кV с последующим повышением до 3кV. Это повторялось 4 раза. Как видно из графиков во время 1-го цикла, средние частоты на АЧХ отсутствуют до 2,5кV, а низкие и высокие частоты слабо выражены. Начиная с 2,5кV, оживляются средние частоты и растет интенсивность высоких частот. В период второго цикла оживление средних частот начинается с 2кV а ВЧ и при низких напряжениях хорошо выражены. На третьем цикле средние частоты проявляются с 2кV. Но, начиная с 0,5кV, низкие и высокие частоты имеют заметную большую интенсивность, чем во время второго цикла. Здесь резко выражена высокочастотная часть спектра. В конце эксперимента происходит нагружение и скол кристалла. Во время механического нагружения и разрушения кристалла, АЧХ и ЭМИ смещается в сторону низких частот (рис.7).

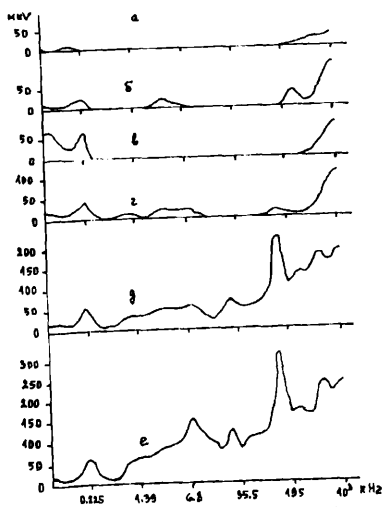


Рис.4 АЧХ ЭМИ при разных электрических напряжениях. 1 цикл, а- 0.5кВ, б- 1кВ, в- 1.5кВ, г- 2.0кВ, д- 2.5кВ, е- 3.0кВ.

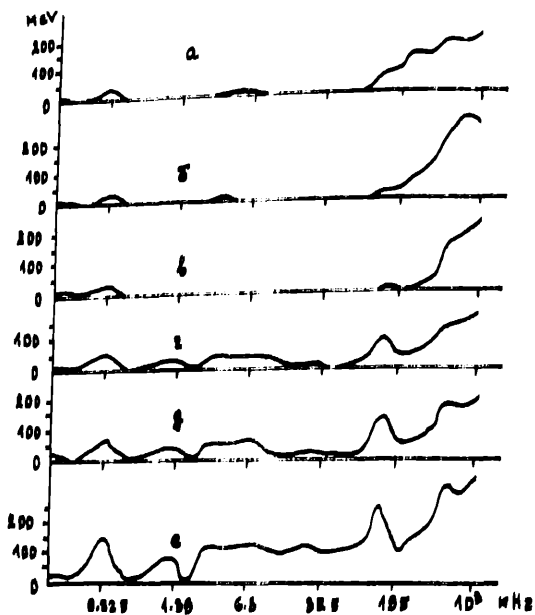


Рис.5 2 цикл, и - 0.5кВ, б - 1кВ, в - 1.5кВ, г - 2.0кВ, д - 2.5кВ, е - 3.0кВ

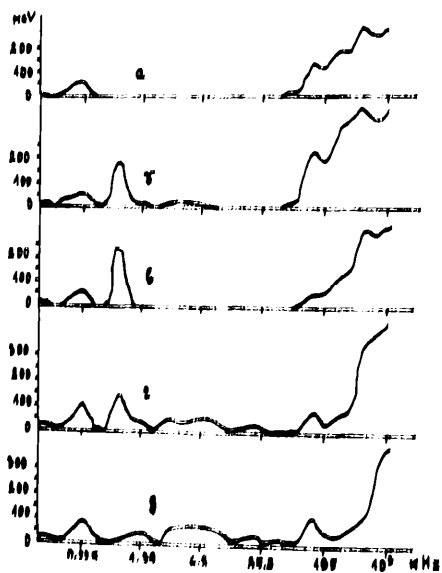


Рис.6 3 цикл, и - 0.5кВ, б - 1кВ, в - 1.5кВ, г - 2.0кВ, д - 2.5кВ.

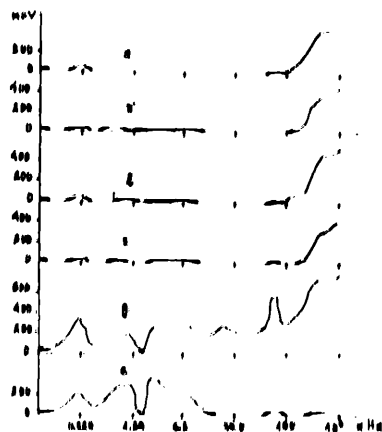


Рис. 7 4 цикл, а 0,5кВ, б 1кВ, в 1,5кВ, г 2,0кВ, д 2,5кВ, е 3,0кВ

Была проведена серия экспериментов. Образец держался под высоким напряжением постоянного электрического поля (1,5кВ) в течение нескольких часов. В начале наблюдается обычная картина: импульсы такой же интенсивности и такого же АЧХ, как в предыдущих экспериментах. Но через несколько часов интенсивность и частота следования импульсов уменьшаются и почти "затихают". После приближения напряжения (до 2кВ) снова появляются импульсы, но через некоторое время кристалл как будто истощается. При повышении напряжения картина повторяется. Доводим напряжение до 3кВ и после окончательного истощения кристалла выключается установка. На следующий день картина повторяется, но поднимается порог напряженности, с которого наблюдается УМИ. Доводим напряжение до 3кВ и продолжается эксперимент в течение нескольких часов. Интенсивность УМИ падает, частота следования импульсов уменьшается, меняется спектр излучения (остается ИЧ часть), а в конце эксперимента импульсы "затихают". После этого происходит скол кристалла и УМИ нет, вернее она не регистрируется на нашей установке. Та же серия экспериментов проводилась и с механическим нагружением. Механическое нагружение ускоряет процесс истощения кристалла. Если после истощения образца, при некотором постоянном электрическом напряжении, нажать индентором на кристалл, то импульсы снова появляются. С помощью механического нагружения можно заметно ускорить процесс истощения кристалла, после скола которого УМИ не наблюдается. Эта серия экспериментов еще раз говорит в пользу дислокационного механизма УМИ.

Перечислим кратко результаты, полученные в наших экспериментах:

- а) помещенные в постоянное электрическое поле щелочно-галогидные кристаллы излучают электромагнитные волны в радиочастотном диапазоне;
- б) в электрическом поле, как и при механическом нагружении, кристалл в поляризованном свете "просветляется";
- в) при длительной выдержке в электрическом поле кристалл истощается, т.е. уменьшается интенсивность импульсов;
- г) при "истощении" кристалла просветление достигает максимума и остается постоянным;
- д) при увеличении напряжения кристалл "оживает", затем снова "истощается" и т.д. до максимального напряжения;
- е) при приложении механической нагрузки появляются сигналы УМИ;

ж) "истощенный" кристалл после длительного "отдыха" снова оживает и просветляется;
з) если нажать индентором на "истощенный" кристалл, то снова появляется ЭМИ;
и) после окончательного истощения кристалла в электрическом поле, после скола ЭМИ не регистрируется;

Пункт "б" свидетельствует о схожей природе "просветления" при приложении электрического поля и при механическом нагружении. При нагружении индентором однозначно известно, что движутся дислокации и они вызывают "просветление" кристалла.

Оцененная Спраулом плотность заряда на дислокациях равнялась $2 \cdot 10^{-3} \text{CGSE}$. Наличие такого заряда приводит к возможности перемещения дислокации во внешнем электростатическом поле.

Пункты "в" и "г" говорят о том, что при длительном приложении электрического поля "вытягиваются" все возможные дислокации и "просветление" становится постоянным для данного напряжения.

Согласно пункту "д" можно предположить, что дислокации имеют энергетическую иерархию и с помощью постоянного электрического поля можно понизить твердость материала.

Пункт "ж" указывает на то, что дислокации, после снятия электрического поля, постепенно обрастают облаком Котрелла-Дебая-Хюкелля и электрически нейтрализуются, а при повторном приложении поля снова начинают двигаться.

В пользу дислокационного механизма, кроме прочего говорит и тот факт, что излучение длится в 1,5 – 2 раза дольше времени разрушения и, очевидно, вызывается релаксацией пришедших в движение дислокации.

Пункт "и" свидетельствует о превалирующем вкладе дислокационного механизма ЭМИ при прохождении трещины.

Таким образом можно сказать, что сильное постоянное электрическое поле вызывает движение дислокации в кристалле, в процессе которого регистрируется ЭМИ.

Литература

1. Гохберг М.Д., Моргунов В.А., Аронов Е.Л. О высокочастотном электромагнитном излучении при сейсмической активности. ДАН СССР, 1979, т.248
2. Электромагнитные предвестники землетрясений. Ред. М. А. Садовский, Наука, 1982
3. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений. Ред. М. Б. Гохберг, Москва
4. Перельман М.Е., Хатиашвили Н.Г. О радиоизлучении при хрупком разрушении диэлектриков. ДАН СССР, 1981, т.256, №4
5. Молоцкий М.Н. Дислокационный механизм электризации ионных кристаллов при расщеплении. ФТТ, 1976, т.18, №6
6. Хатиашвили Н.Г. Возможные механизмы электромагнитного излучения при разрушении кристаллов и горных пород. Геофизический журнал, 1988, т.10, №5
7. Хатиашвили Н.Г., Гогошидзе Д.А., Зилпимияни Д.О. Спектр электромагнитного излучения при сколе щелочно-галлоидных кристаллов. Сообщения АН ГССР, 1983, т.110. №1
8. Хатиашвили Н.Г., Варамашвили Н.Д. Об электромагнитном излучении при разрушении кристаллов. Тезисы Всесоюзного симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел. Ростов-на-Дону, 1986
10. Хатиашвили Н.Г., Варамашвили Н.Д. ЭМИ кристаллов в сильных электрических полях. ДЕП рукопись в ГрузНИИТИ, 1990
11. Gokhberg M.B., Morgunov V.A. and Pokhotelov O.A.: Earthquake Prediction . Seismo-Electromagnetic Phenomena, (Gordon and Breach Publishers, Amsterdam), 1995
12. Gershenzon N.I., Gokhberg M.B., Karakin A.V., Petviashvili N.V. and Rykunov A.L.: Modeling the emission, Physics of Earth and Planetary Interiors, 57, 1989

- 13.Kostas Eftaxias, Panayiotas Kapiris, Yiannis Poligiannakis, Vasilios Hadjicontis, Zurab Chelidze, David Zilpimiani, Tamaz Chelidze.: Seismogenic radio-emission as a signature of the earthquake preparation process, Journal of Georgian Geophysical Society, Issue(A), Physics of Solid Earth, v.6, 2001
- 14.V.Hadjicontas, C. Mavromatou and Y. Enomoto, Electric Signals by LiF Ionic Crystals during Their Deformation. Materials Science Forum, Vols.239-241, 1997
- 15.V. Hadjicontas and C. Mavromatou, Transient electric signals prior to rock failure under uniaxial compression, Geophysical Research Letters, vol.21, №16, 1994.

გუგუ-ჰალოიდური კრისტალების ელექტრომაგნიტური გამოსხივება (ემგ) მუდმივ ელექტრულ ველში

ნ. ვარამაშვილი, მ. ხატიაშვილი

რეზიუმე

ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტები, მუდმივი ელექტრული ველის გავლენის შესასწავლად ელექტრომაგნიტური გამოსხივების (ემგ) სპექტრალურ მახასიათებლებზე, NaCl-ის კრისტალებისათვის.

გამოკვლევები ტარდებოდა მუდმივ ელექტრულ ველში, კრისტალზე მექანიკური ზემოქმედებისას და მის გარეშე. კრისტალის დეფორმაციის დროს იწყებენ მოძრაობას დისლოკაციები, რომლებიც რეალური კრისტალის არარეგულარულების გამო ერთიანდებიან და იწვევენ კრისტალის განათებას პოლარაზებულ სინათლეში.

კრისტალის დატვირთვისას, ბზარის გამოჩენამდის, დაიკვირვება ემგ. ბზარის გავლისას დაიკვირვება მსგავსი აშკარად ურ-სინშირული მახასიათებლების, მაგრამ დიდი ინტენსივობის ემგ, რაც ლაპარაკობს ემგ-ს დისლოკაციური მექანიზმის სასარგებლოდ. დისლოკაციური მექანიზმის სასარგებლოდ მოწმობს ის ფაქტიც, რომ გამოსხივება მსხვერვაზე 1.5 - 2-ჯერ უფრო დიდხანს გრძელდება, და ცხადია, გამოწვეულია ამოძრავებელი დისლოკაციების რელაქსაციით.

Electromagnetic radiation (HER) of the alkali-haloid crystals in the constant electric field

N. Varamashvili, M. Xutiashvili

Abstract

A series of experiments has been lead, with the purpose of studying influence of a constant electric field on spectral characteristics of electromagnetic radiation (EMR), for crystals NaCl...

Researches were carried out in a constant electric field, both at mechanical influences on a crystal and without it. At deformation of a crystal dispositions which because of heterogeneity of a real crystal, are united start to move and cause an enlightenment of a crystal in polarized light.

During time of loading a crystal, before occurrence of a crack, it is observed EMR. During passage of a crack it is observed the similar amplitude-frequency characteristic, but big intensity EMR that spaks well dislocation mechanism EMR. For dislocation mechanism testifies also thatfact, that radiation proceeds 1.5 - 2 times longer time of destruction and, obviously, is caused by a relaxation of the dispositions which have come in movement.