

05.2;07;12

## **Электролюминесценция при синхронных синусоидальных изменениях электрического поля и одноосного механического напряжения в сегнетоэлектрическом релаксоре магнониобата свинца**

© Н.Н. Крайник, С.А. Попов, С.А. Сушко, С.А. Флерова

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

Поступило в Редакцию 17 декабря 1996 г.

В диапазоне частот неупругой механической релаксации в кристаллах магнониобата свинца зарегистрированы изменения интенсивности и кинетики электролюминесценции в режиме возбуждения синусоидальным электрическим полем и синхронно действующими одноосными механическими напряжениями; результаты представляют интерес для развития оптоэлектронной тензометрии и новых направлений исследования сегнетоэлектрических релаксоров.

Исследование состояний поляризации в неоднородных сегнетоэлектрических средах, обнаруживающих релаксорные свойства, привлекают пристальное внимание исследователей в связи с важностью общей проблемы неоднородных состояний и разнообразными техническими применениями подобных материалов, в частности материалов на основе модельного сегнетоэлектрического релаксора магнониобата свинца  $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}$ .

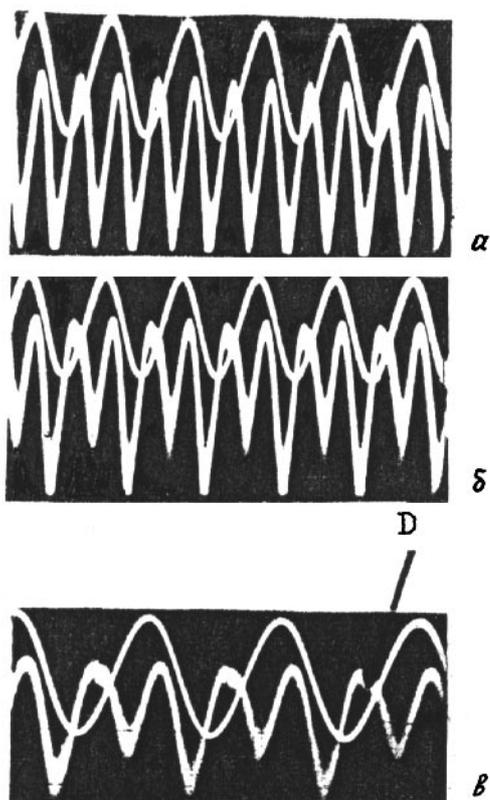
Особый интерес представляют исследования свойств таких материалов при приложении электрических полей и механических напряжений в области температур, непосредственно выше температур макродоменного сегнетоэлектрического состояния, так как именно в этой области температур наблюдаются наиболее сильные эффекты, имеющие техническое значение и обусловленные механизмами изменения поляризации, подобными сегнетоэлектрическим доменным механизмам (см., например, [1]). К таким эффектам относится также электролюминесценция,

возникающая как результат излучательной рекомбинации неравновесных носителей, образование которых связано с изменениями доменной и гетерофазной структуры [2,3].

В настоящей работе впервые получены данные об электролюминесценции в кристаллах магнониобата свинца при синхронном действии синусоидальных изменений электрического поля и механического напряжения.

Использовались кристаллы, выращенные модифицированным методом спонтанной кристаллизации [4]. Электрическое поле  $E = E_0 \sin \omega t$  и механическое напряжение  $\sigma = \sigma_1 + \sigma_0 \sin \omega t$  (циклическая частота  $\omega = 2\pi f$ ) прикладывались в псевдокубическом направлении [001] ( $\sigma \parallel E$ ), световое излучение регистрировалось в направлении {100}. Для подачи электрического поля использовались InGa-электроды. Механическое напряжение создавалось по методике, аналогичной использованной в работе [5]. Образец зажимался в специальном кристаллодержателе типа "сэндвич" под начальным одноосным напряжением  $\sigma_1$  между двумя пьезоэлементами, на один из которых подавалось электрическое напряжение, синхронное с возбуждающим электрическим полем. Вторым пьезоэлементом служил для определения развиваемых в кристаллодержателе переменных механических напряжений. Измерения велись при комнатной температуре в полях ниже критического, вызывающего индуцирование макродоменного состояния [1]. Поле прикладывалось к кристаллу, находящемуся в неоднородном состоянии и содержащему локальные полярные спонтанно деформированные области. Частота изменения электрического поля и механического давления  $f$  составляла 3–10 кГц, т. е. лежала в области частот интенсивной релаксации диэлектрической поляризации [6] и неупругой механической релаксации [7].

На рисунке приведены примеры осциллограмм временных зависимостей возбуждающего электрического поля и интенсивности люминесценции, наблюдаемой в отсутствие (*a*) и при синхронном приложении (*б, в*) синусоидального механического напряжения. Сравнение осциллограмм интенсивности электролюминесценции  $A(t)$  в отсутствие и при приложении статического сжатия  $\sigma = \sigma_1$  показывает, что так же, как и при возбуждении импульсным электрическим полем [8], параметры фотоимпульсов практически не изменяются. При подаче на кристалл переменного напряжения с амплитудой  $\sigma_0 \cong \sigma_1$  амплитуда люминесценции  $A_{\max}$  каждого второго (первого) импульса уменьшается на 25–30%, изменяется кинетика  $A(t)$  (см. рисунок, *б, в*).



Синхронные осциллограммы возбуждающего электрического поля и электролюминесценции кристалла PMN в различных режимах возбуждения. Режимы возбуждения и регистрации:

амплитудное значение напряженности электрического поля, возбуждающего люминесценцию,  $E_0 = 12.7 \text{ кВ/см}$  ( $a, b, v$ ); величина статического одноосного сжатия  $\sigma_1 = 70 \text{ кг/см}^2$  ( $a, b, v$ ); амплитудное значение переменной составляющей механических напряжений  $\sigma_0 = 65 \text{ кг/см}^2$  ( $b, v$ ); частота синусоидального электрического поля ( $a, b, v$ ) и синусоидальных механических напряжений  $f$  в кГц: 5.0 ( $a, b$ ), 8.0 ( $v$ ); нулевые уровни на каналах регистрации электрического поля и люминесценции на осциллографе CI-77 совпадают; усиление по каналу регистрации люминесценции для ( $a, b$ ) в 2.5 раза больше, чем для  $v$ ; температура  $T = 293 \text{ К}$ ;  $D$  — участок деполяризованной люминесценции.

В отсутствие переменной составляющей механических напряжений частота следования люминесцентных импульсов равна удвоенной частоте возбуждающего синусоидального поля и каждый отдельный импульс развивается в интервалах времени между двумя ближайшими значениями фазы  $n\pi \mp \Delta$  ( $n$  — нечетное число,  $\Delta \ll \pi$ ) [3]. Если пренебречь незначительной униполярностью реального образца, то условия для возникновения и развития двух соседних импульсов идентичны. В экспериментах, проведенных в настоящей работе, переменные механические напряжения, оставаясь сжимающими на двух ближайших ветвях (например, от  $\pi/2$  до  $3\pi/2$  и от  $3\pi/2$  до  $5\pi/2$ ), разнятся по знаку первой производной по времени. При увеличении сжатия импульс люминесценции практически остается неизменным, а при уменьшении — изменяется характер деполаризации кристалла. Уменьшение давления (относительное растяжение кристалла) сдерживает распад поляризованного состояния (см. рисунок, *в*, фрагмент *D*), что предопределяет изменение кинетики развития фотоимпульса и уменьшение амплитуды люминесценции. Наблюдаются четко коррелирующие амплитудно-частотные зависимости этих изменений (ср. кадры *б* и *в* рисунка), что дает основание предполагать существенную роль неупругой механической релаксации доменоподобных образований в исследуемом релаксоре.

Таким образом, механические напряжения, синхронно изменяющиеся с электрическим полем, заметно влияют на характер и интенсивность доменоподобных коллективных изменений поляризации, сопровождаемых различными процессами возникновения неравновесных носителей заряда. Регистрируемая при этом люминесценция не может рассматриваться как результат простого суммирования электро- и тензолюминесценции, так как эти явления в кристаллах PMN вызываются сильно взаимодействующими процессами изменения поляризации, в которых принимают участие одни и те же атомные группы кристалла. Эти доменоподобные процессы, вызванные синхронными изменениями электрического поля и механических напряжений, в неоднородной среде сопровождаются взаимодействующими изменениями локальных электрических полей и макродеформаций, включающих также электрострикционные деформации.

Представляют интерес дальнейшие исследования электролюминесценции, вызываемой синхронными изменениями электрического поля и механического напряжения, для развития представлений о протекании

процессов изменения локальных электрических полей и механических напряжений и их влиянии друг на друга в неоднородных сегнетоэлектрических средах. Обнаруженное сильное взаимодействие этих процессов открывает возможность независимого измерения величин изменяющихся механических напряжений с помощью электролюминесценции.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант N 96-02-16893.

## Список литературы

- [1] *Glazounov A.E., Tagantsev A.K., Bell A.J.* // Phys. Rev. B. 1996. V. 53. N 17. P. 11281–11284.
- [2] *Флерова С.А., Попов С.А., Крайник Н.Н., Бочков О.Е., Лазарев А.П.* // ФТТ. 1985. Т. 27. № 11. С. 3492–3494.
- [3] *Флерова С.А., Кудзин А.Ю., Бочков О.Е., Крайник Н.Н.* // ФТТ. 1989. Т. 31. № 2. С. 123–127.
- [4] *Мыльникова И.Е., Боков В.А.* // Рост кристаллов. М.: АН СССР, 1961. Т. 3. С. 438–446.
- [5] *Флерова С.А., Кудзин А.Ю., Бочков О.Е., Крайник Н.Н.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 21. С. 1960–1963.
- [6] *Физика сегнетоэлектрических явлений* / Отв. ред. Г.А. Смоленский. Л., 1985. 396 с.
- [7] *Vieland D., Jang S.J., Eric Cross, Wuttig M.* // Phys Mag. A. 1991. V. 64. N 4. P. 835–849.
- [8] *Крайник Н.Н., Флерова С.А., Попов С.А.* // ФТТ. 1987. Т. 29. № 9. С. 2845–2847.