

06;07;12

©1994 г.

## ОБЪЕМНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОВОДЯЩИХ СРЕДАХ И ЕГО РЕГИСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**Б.В.Божуль**, Б.В.Крылов, В.Е.Лепарский, А.Г.Мащенко

В ряде работ [1,2], посвященных исследованию электрооптических дефлекторов, указывалось на существенное влияние на качество их работы проводимости среды, из которой эти устройства изготовлены. Отмечалось, что причиной искажений в распределении электрического поля является объемный заряд [3], накопление которого обусловлено непропорциональностью тензоров диэлектрической проницаемости и проводимости кристалла, помещенного в неоднородное электрическое поле. В работе [4] зафиксирован результат воздействия электрического поля заряда на электрооптическую среду. В данной работе предложен и экспериментально проверен способ регистрации объемного заряда непосредственно электрическим методом. Чтобы понять его суть, рассмотрим динамику процессов накопления и релаксации заряда.

При подключении устройства к источнику постоянного напряжения (рис. 1) в анизотропной среде в первоначальный момент времени из-за быстрого изменения напряжения на электродах установится распределение потенциала, соответствующее, как указано в [5], ее диэлектрическим свойствам. Через некоторое время, в течение которого в среде накапливается объемный электрический заряд [3], картина распределения потенциала изменится. Его стационарное распределение будет определяться уже только проводящими свойствами среды. Если отключить устройство от источника питания и соединить его электроды, то ввиду малости сопротивления соединительных проводов произойдет сравнительно быстрый разряд емкости устройства. Иным образом будет протекать процесс релаксации объемного заряда. Длительность данного процесса существенно отличается от длительности разряда емкости устройства, так как постоянная времени релаксации заряда определяется диэлектрическими и проводящими свойствами анизотропной среды. Устройство в целом остается электронейтральным. Заряд, локализованный в объеме среды, компенсируется индуцированным им зарядом противоположного знака на электродах.

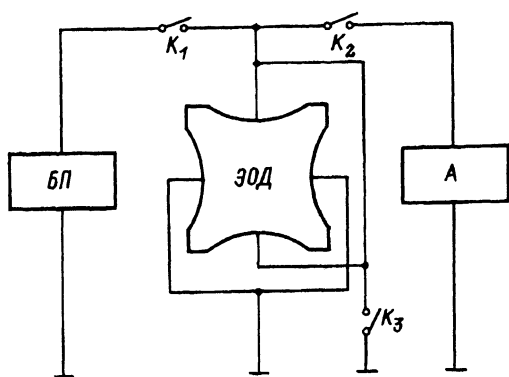


Рис. 1. Электрическая схема экспериментальной установки.

ЭОД — электрооптический дефлектор; БП — блок питания; А — амперметр;  $K_1$ – $K_3$  — ключи.

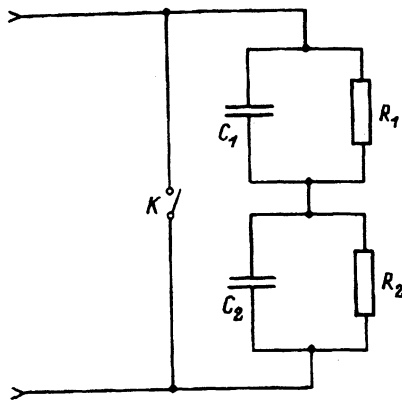


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема электрооптического устройства.

Выясним сейчас возможные пути релаксации объемного заряда. Рассмотрим схему, приведенную на рис. 2, которая является эквивалентной схемой устройства на основе проводящих анизотропных сред. Она состоит из двух последовательно соединенных  $RC$ -ячеек. Сопротивления и емкости по величине выбраны таким образом, чтобы выполнялось неравенство  $R_1/R_2 \neq C_2/C_1$ , что соответствует случаю непропорциональности тензоров диэлектрической проницаемости и проводимости.

При подключении схемы к источнику напряжения в первоначальный момент времени распределение потенциала между ячейками будет определяться емкостным делителем. При этом заряды на обкладках конденсаторов по величине будут равны между собой. Спустя достаточно длительное время из-за наличия сопротивлений это распределение потенциала изменится. В итоге оно будет определяться отношением величин  $R_1$  и  $R_2$ . Заряды на обкладках конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  перестанут компенсировать друг друга. Их разность достигнет величины, равной

$$\Delta q = \frac{R_2 C_2 - R_1 C_1}{R_1 + R_2} U, \quad (1)$$

где  $U$  — приложенное напряжение.

Предположим сейчас, что после отключения схемы от источника напряжения мы замкнули ключ  $K$ . Сначала, как и в электрооптическом устройстве, произойдет быстрый процесс разряда всей схемы как некоторого эквивалентного конденсатора. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  при этом разрядятся неполностью. Как показывает расчет, по абсолютной величине суммарный заряд на соединенных между собой обкладках будет равен (1). Процесс уменьшения этого заряда более длительный из-за значительных по сравнению с подводящими проводами величин  $R_1$  и  $R_2$ . Токи при этом будут протекать как по сопротивлениям  $R_1$  и  $R_2$ , так и через ключ  $K$ . Величина тока через ключ  $K$  в первоначальный момент времени равна

$$I = \frac{(R_2 C_2 - R_1 C_1)^2}{(C_1 + C_2)^2 (R_1 + R_2) R_1 R_2} U. \quad (2)$$

Поместив во внешнюю цепь измеритель тока, можно зафиксировать его величину и установить закон изменения. Естественно предположить, что аналогичным образом протекает и процесс релаксации заряда в устройствах на неоднородном электрическом поле. Это было проверено экспериментально.

Схема экспериментальной установки для проведения исследований представлена на рис. 1. В качестве устройства на неоднородном электрическом поле нами использовался электрооптический дефлектор (ЭОД) из кристалла ниобата лития с апертурой 1.5 мм и длиной 30 мм. Его управление осуществлялось от блока питания БП с помощью ключа  $K_1$ . Ключ  $K_2$  предназначен для кратковременного соединения электродов между собой. Измерение тока проводилось с помощью амперметра  $A$ , который включался в цепь ключом  $K_3$ .

Экспериментальная регистрация процесса релаксации заряда в ЭОД проводилась следующим образом. Предварительно с целью увеличения проводимости кристалла ниобата лития дефлектор нагревался до  $150-160^\circ \text{C}$ . При комнатной температуре из-за большого сопротивления кристалла значительного накопления заряда в его объеме не происходит. После этого с помощью ключа  $K_1$  на электроды подавалось управляющее напряжение от блока питания. В таком состоянии дефлектор выдерживается 5 мин. В течение этого времени с помощью оптической системы, описанной в [4], по изменению интерференционной картины осуществлялся контроль за процессом накопления заряда. Затем в течение 1.8–2.0 с проводилась следующая последовательность операций: отключение дефлектора от источника напряжения,

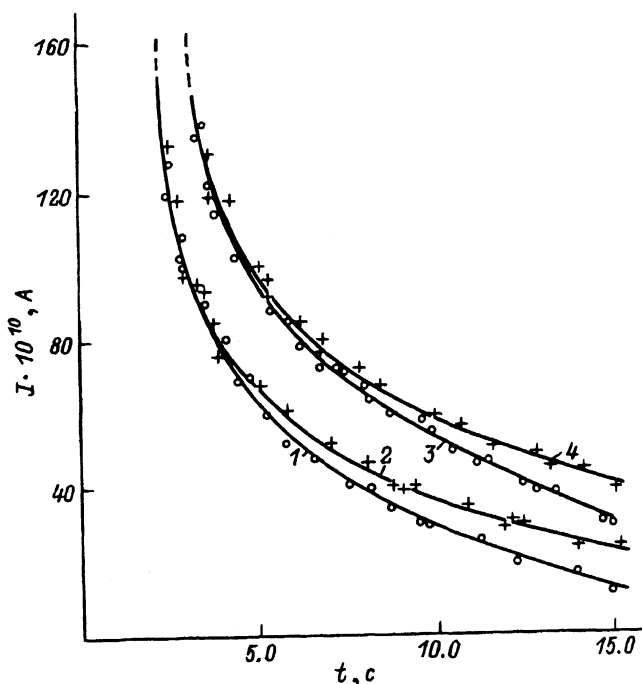


Рис. 3. Зависимость тока, протекающего во внешней цепи дефлектора при релаксации объемного заряда, от времени.

закорачивание его электродов на время порядка 1 с, подключение амперметра. В момент отключения от источника напряжения запускался секундомер. С момента подключения амперметра до окончания процесса релаксации заряда проводилось одновременное считывание его показаний и показаний секундомера.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 3. Здесь приведены зависимости величины тока во внешней цепи дефлектора от времени при различных значениях температуры кристалла (кривые 1 и 3 — 150, кривые 2 и 4 — 160° С) и управляющего напряжения, подаваемого на электроды ЭОД (кривые 1 и 2 — 150, кривые 3 и 4 — 200 В).

Из приведенных данных нетрудно заметить характерные для релаксации заряда зависимости. С ростом управляющего напряжения (кривые 1, 2 и 3, 4 соответственно) увеличивается первоначальная величина заряда, накапливающегося в объеме кристалла. С повышением температуры возрастает проводимость кристалла, что приводит к ожидаемому увеличению скорости релаксации объемного заряда (кривые 2, 4 и 1, 3). Следует отметить, что через внешнюю цепь проходит лишь часть объемного заряда, который фиксируется в эксперименте по измеренной величине тока.

Таким образом, в результате проведенных исследований электрическим методом зарегистрирован объемный заряд, накапливаемый в анизотропной проводящей среде под влиянием внешнего неоднородного электрического поля в случае непропорциональности тензоров диэлектрической проницаемости и проводимости.

Исследования финансировались Фондом фундаментальных исследований Беларуси.

#### Список литературы

- [1] Бондарев И.Ф., Гриб А.Ф., Гусак Н.А., Сотский Б.А. //ЖПС. 1982. Т. 36. № 6. С. 999-1002.
- [2] Гусак Н.А., Камач Ю.Э., Овчинников В.М., Сотский Б.А. // ДАН БССР. 1983. Т. 27. № 10. С. 904-906.
- [3] Крылов Б.В. //Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. 1978. № 6. С. 61-65.
- [4] Лепарский В.Е. //Ковариантные методы в теоретической физике. Оптика и акустика. Минск, 1986. С. 96-100.
- [5] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматгиз, 1957. 238 с.

Институт физики им. Б.И.Степанова  
Минск

Поступило в Редакцию  
27 августа 1993 г.