

05;07;12

Электрооптический компенсационный метод измерения параметров фоторефрактивных кристаллов

© А.В. Ильинский, Е.Б. Шадрин

Venemerita Universidad Autynoma de Puebla, Mexico

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

Поступило в Редакцию 21 августа 2000 г.

Предложен компенсационный метод измерения параметров фоторефрактивных кристаллов, основанный на продольном электрооптическом эффекте, в котором в модифицированной ячейке Поггеля используются две кристаллические пластины вместо одной. Плоскости пластин располагаются перпендикулярно оптической оси, а большие полуоси эллипсоида, наведенного электрическим полем двулучепреломления, повернуты друг относительно друга на 90° вокруг этой оси. Предложенным методом измерена зависимость времени максвелловской релаксации кристалла $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}:\text{Al}$ (0.2%) от интенсивности фотовозбуждения образца сине-зеленым светом с длиной волны 5145 \AA и показано, что при интенсивности возбуждения 10 mW/cm^2 время максвелловской релаксации уменьшается на $(6 \pm 1) \text{ s}$ от темнового значения $(80 \pm 10) \text{ s}$.

Изучение оптических, электрических и электрооптических свойств кристаллов вызывает большой интерес в связи с их многочисленными приложениями [1]: электрооптические кристаллы используются в качестве активных сред для модуляторов и дефлекторов света, фоторефрактивные кристаллы в качестве активных элементов для пространственно-верменных модуляторов света и сред для записи голограмм и др. Все эти взаимосвязанные свойства зависят от способа выращивания кристалла, степени его легирования контролируруемыми или неконтролируемыми примесями, а для одного и того же образца также от условий проведения эксперимента: температуры, фотовозбуждения кристалла и пр. Важную, а иногда и определяющую роль при этом играют процессы переноса заряда, экспериментальное исследование которых стандартными электрическими методами, основанными на измерении крайне малых величин протекающего через них тока, может оказаться весьма затруднительным, а зачастую и просто невозможным.

Новые возможности в этом отношении открывает использование электрооптических методов измерения [1–3], в которых по величине продольного или поперечного электрооптического эффекта (эффекта Поккельса) непосредственно регистрируется величина электрического поля и тем самым электрического заряда, накопленного кристаллом в течение длительного времени в процессе переноса заряда свободными носителями. Поскольку время накопления заряда может быть очень большим (минуты, часы), электрооптические методы изучения зарядо-переноса в кристаллах оказываются весьма эффективными.

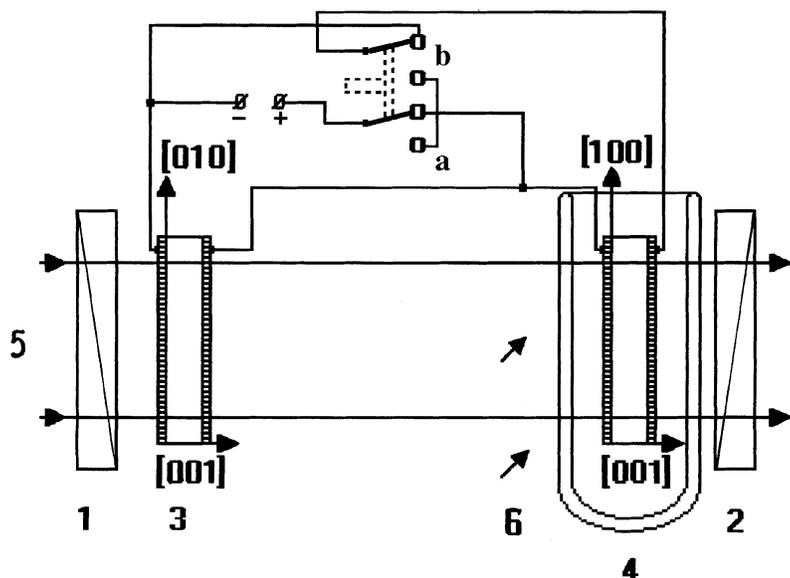
В настоящей работе предложен оригинальный компенсационный метод измерения параметров фоторефрактивных кристаллов, основанный на продольном электрооптическом эффекте в модифицированной ячейке Поккельса. В нем вместо одной кристаллической пластины используются две пластины (см. рисунок), плоскости которых располагаются перпендикулярно оптической оси, а большие полуоси эллипсоида наведенного электрическим полем двулучепреломления повернуты друг относительно друга на 90° вокруг оптической оси. Таким образом, здесь компенсатором, компенсирующим наведенное двулучепреломление, является не кварцевый клин или слюдяная пластинка, как это принято в обычных компенсационных схемах [4], а тот же самый исследуемый кристалл, но соответствующим образом ориентированный.

Отметим, что продольный эффект Поккельса пропорционален приложенному к кристаллу напряжению, причем как само приложенное напряжение, так и коэффициент пропорциональности (электрооптические константы материала) могут меняться под воздействием внешних факторов.

Возможны различные варианты реализации компенсированного метода, сводящиеся к двум основным (см. рисунок, *a, b*):

a — напряжение приложено к последовательно включенным кристаллическим пластинам *одинаковой* толщины, а компенсация разности фаз между обыкновенным и необыкновенным лучами, возникающей во внешнем электрическом поле, достигается за счет ортогональной ориентации осей эллипсоида наведенного двулучепреломлением второй кристаллической пластины по отношению к первой;

b — напряжение приложено к параллельно включенным кристаллическим пластинам, а компенсация разности фаз достигается за счет встречной полярности напряжения, приложенного к двум одинаково ориентированным кристаллическим пластинам *произвольной* толщины.



Оптическая схема ячейки Погкельса с двумя пространственно разделенными кристаллическими электрооптическими пластинами $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$: a — приложение внешнего напряжения к последовательно соединенным пластинам; b — приложение внешнего напряжения к параллельно соединенным пластинам. 1 — поляризатор; 2 — анализатор; 3, 4 — ориентированные кристаллические пластины; 5 — зондирующий свет; 6 — дополнительное фотовозбуждение одной из пластин.

Таким образом, указанная пара кристаллических пластин образует оптический мост, в котором величина продольного электрооптического эффекта первой кристаллической пластины оказывается с высокой точностью скомпенсированной такой же величиной электрооптического эффекта (противоположного знака) второй пластины. Предложенный нуль, как всякий компенсационный метод [4], обладает максимальной чувствительностью к измеряемой величине и позволяет уверенно регистрировать не только большие, но и весьма малые (до долей процента) отличия в электрооптических свойствах пластин, определяемые различием внешних условий, в которых эти пластины находятся.

Подчеркнем, что пространственное разделение плеч оптического моста, при котором на одной оптической оси по ходу зондирующего луча света между четырьмя прозрачными электродами последовательно помещаются две пространственно разделенные кристаллические пластины, позволяет одно из плеч подвергать внешнему воздействию. Таким воздействием может быть нагревание или охлаждение образца, его дополнительное фотовозбуждение, механическая деформация и пр., что способно вызывать изменение электрооптических свойств пластины, подлежащее регистрации.

Теперь поясним, какую физическую информацию дают два вышеизложенных варианта метода. В варианте *a* регистрируются малые отличия *параметров зарядопереноса* последовательно включенных пластин выявляемые за счет различий в перераспределении напряжения на пластинах с течением времени. Так, если одна из них отличается по электрическим свойствам (иное время максвелловской релаксации за счет легирования, фотовозбуждения или термовозбуждения образца), то эти отличия можно зарегистрировать с большей, чем обычно, точностью. Выигрыш достигается значительным уменьшением влияния на измеряемый разностный сигнал шумов электрического напряжения, приложенного к ячейке, как это и свойственно мосту [5]. В варианте *b* регистрируются небольшие отличия величин *электрооптических коэффициентов* кристаллических пластин. Эти отличия могут быть обусловлены нагревом (охлаждением), дополнительным легированием одной из пластин или зависимостью электрооптического коэффициента от напряженности электрического поля, проявляющейся, например, при неоднородном распределении электрического поля в фотовозбужденном образце.

В качестве примера выполненных измерений приведем результат определения малого уменьшения (на $\Delta\tau_M = (6 \pm 1) \text{ s}$) времени максвелловской релаксации ($\tau_M = (80 \pm 10) \text{ s}$) высокоомной ($r = 2 \cdot 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$) пластины $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, легированной алюминием (0.2% Al). Данное уменьшение обусловлено дополнительным фотовозбуждением пластины светом из сине-зеленой ($\lambda = 5145 \text{ \AA}$) области спектра интенсивностью 10 mW/cm^2 . Этот результат был получен по схеме (см. рисунок, *a*). Отметим, что измерение семипроцентного изменения физического параметра, который сам по себе может быть измерен с точностью не лучше 12%, наглядно демонстрирует преимущества предложенного компенсационного метода.

Таким образом, предложенный нуль-метод применим ко всем случаям возникновения наведенного двулучепреломления, поскольку наличие данного явления предполагает возникновение разности хода между обычным и необычным лучами, обусловленной действием какого-либо внешнего фактора, например электрического поля. А это, в свою очередь, предполагает наличие возможности *компенсации* возникшего двулучепреломления таким же образом, но имеющим ортогональную ориентацию. Подвергая дополнительному внешнему воздействию (освещению, нагреву, давлению и т.п.) компенсатор и тем самым разбалансируя оптический мост, можно по возникшему сигналу разбаланса следить за тонкостями эволюции оптических параметров исследуемых кристаллов.

Список литературы

- [1] *Petrov M.P., Stepanov S.I., Khomenko A.V.* // Photorefractive crystals in coherent optical systems. Springer-Verlag, 1991. 118 p.
- [2] *Astratov V.N., Furman A.S., Ilinski A.V.* // Semiconductors and Insulators: Optica and Spectroscopy Research / Yu.I. Koptev. New York, 1992. P. 271.
- [3] *Ilinski A.V., Velazquez-Cruz I., Prutskij T.A., Chavez F., Silva-Andrade W.* // II International Workshop "Optoelectronic materials and their applications (including solar cells)". La Habana-Cuba. November 2–6th. 1998. P. 314–316.
- [4] *Борн М., Вольф Э.* // Основы оптики. М., 1973. 562 с.
- [5] *Мирский Г.Я.* // Радиоэлектронные измерения. М., 1975. 161 с.