

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 537.226

В. Д. АНЦЫГИН, Э. Г. КОСЦОВ, Л. Н. СТЕРЕЛЮХИНА
(Новосибирск)

ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ СВЕТА
В ТОНКИХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

Качественного повышения производительности вычислительных устройств можно ожидать только после решения основной проблемы современной микроэлектроники — проблемы соединений. Применение оптических каналов связи для обмена информацией между множеством элементов, находящихся на различных подложках, путем модуляции светового потока электрическим полем — одно из решений указанной проблемы [1].

Волновая природа света и требование микроминиатюризации определяют необходимость создания модуляторов света в тонкопленочном исполнении. В настоящее время наиболее совершенными модуляторами света, изготавливаемыми методами интегральной технологии, являются модуляторы света, использующие эффект Франца — Келдыша [2, 3]. Однако им свойственны два серьезных недостатка: высокая фотопроводимость активного слоя, вызываемая модулируемым светом, и узкий спектральный диапазон световых потоков, подлежащих модуляции, определяемый шириной запрещенной зоны материала.

В этом плане более перспективным представляется создание тонкопленочных модуляторов света, основанных на использовании линейного электрооптического эффекта. Ранее сообщалось о наблюдении электрооптического эффекта в тонких сегнетоэлектрических пленках ниобата бария — стронция [4] в режиме низкочастотной модуляции. В то же время с практической точки зрения интересен импульсный режим работы тонкопленочного модулятора.

Спецификой модулятора на основе тонкой сегнетоэлектрической пленки по сравнению с кристаллом является более высокая роль приконтактных эффектов в формировании распределения поля в образце. Наличие переходного слоя вблизи поверхности контакта, особенно в том случае, когда этот слой отличается более низким электрооптическим качеством и в нем создается область обеднения носителями заряда, должно характеризоваться сложным законом изменения во времени интенсивности света на выходе элемента.

Целью настоящей работы являлось исследование основных закономерностей проявления электрооптического эффекта в тонких сегнетоэлектрических пленках в момент воздействия на образец импульса напряжения.

Объектом данного исследования служили текстурированные (с размером зерен $l = 1-3$ мкм) слои ниобата бария — стронция $Ba_{0,5}Sr_{0,5}Nb_2O_8$ толщиной $d = 3-6$ мкм, заключенные между двумя прозрачными электродами $In_2O_3 + SnO_2$ с поверхностным сопротивлением $10-100$ Ом/□. Указанная многослойная структура изготавливалась на поверхности сапфировой подложки методом ВЧ-технологии. Величина поляризации насыщения исследуемых образцов составляла $15-25 \cdot 10^{-2}$ Кл/м², диэлектрическая проницаемость $\epsilon \approx 10^3$ на частоте $f = 1$ кГц.

Для измерения в импульсном режиме индуцированного двулучепреломления $\Delta n_{инд}$ использовалась поляризационно-оптическая методика. Если J_0 — интенсивность света на входе структуры, J_t — интенсивность прошедшего через образец света, $\delta(E) \approx (2\pi d/\lambda)\Delta n_{инд}(E)$ — изменение разности фаз между ортогональными поляризациями света, а φ_0 — угол отстройки анализатора от положения максимального гашения прошедшего через образец света, то $J_t = J_0 \sin^2(\varphi_0 + \delta) \approx J_0 (\varphi_0^2 + 2\varphi_0\delta + \delta^2)$ при $\varphi_0, \delta \ll 1$. Регистрируя $J_1 = J_0\varphi_0^2$ и $J_2 = 2J_0\varphi_0\delta(E)$ (φ_0 выбиралось равным $2 \div 5^\circ$), имеем $\delta(E) = J_2\varphi_0/2J_1$.

При изучении нестационарных токов применялась мостовая схема с компенсацией геометрической емкости образца и сопротивления электродов. Для изучения распределения поляризации по объему пленки проводилось исследование импульсного пиросигнала во времени при воздействии на образец излучения [5].

При исследовании электрооптических эффектов в вышеуказанных образцах обнаружены следующие закономерности.

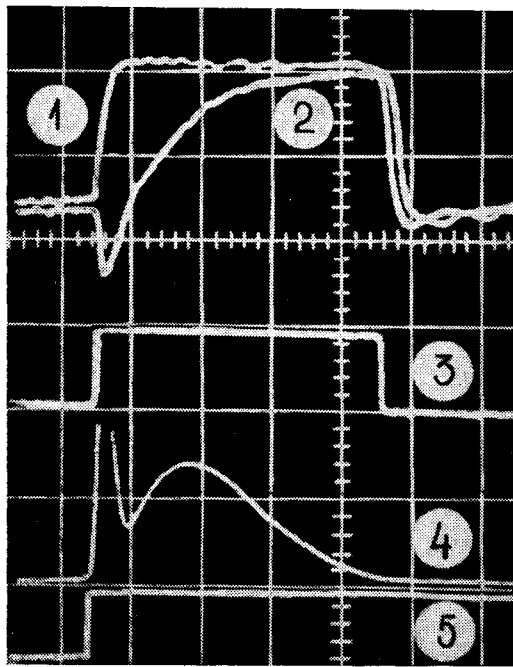


Рис. 1. Изменение во времени интенсивности света J_t на выходе модулятора (кривые 1—3) и тока переполаризации I (кривые 4, 5): 1 — $E_{\pm} = +2 \cdot 10^6$ В/м; 2 — $E_{\pm} = -2 \cdot 10^6$ В/м; 3 — импульс напряжения, $E_{\text{им}}$ (масштаб: $X = 2 \times 10^{-6}$ с/дел.; $Y(E_{\text{им}}) = 50$ В/дел.); 4 — $I(t)$, $Y = 3 \cdot 10^4$ А/м²/дел.; 5 — $E_{\text{им}}$, $Y = 50$ В/дел.

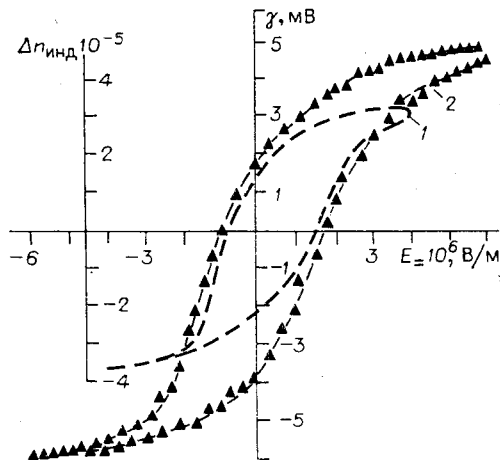


Рис. 3. Зависимость индуцированного двулучепреломления $\Delta n_{\text{инд}}$ и пирозффекта γ от поля смещения: $d = 6$ мкм, $T = 20^\circ \text{C}$; 1 — $\Delta n_{\text{инд}}(E_{\pm})$, $E_{\pm}(f = 1 \text{ кГц}) = 8 \cdot 10^4$ В/м; $f(E_{\pm}) = 10^{-3}$ Гц; 2 — $\gamma(E_{\pm})$, $f(E_{\pm}) = 2 \cdot 10^{-5}$ Гц.

логичный гистерезис имеет место и при исследовании электрооптического эффекта с помощью модуляционной методики [4], когда величина переменного поля, прикладываемого к образцу, значительно меньше величины коэрцитивного поля (рис. 3).

Постоянная времени уменьшения величины полного тока $I(t)$, проходящего через образец после воздействия на него импульса напряжения вне зависимости

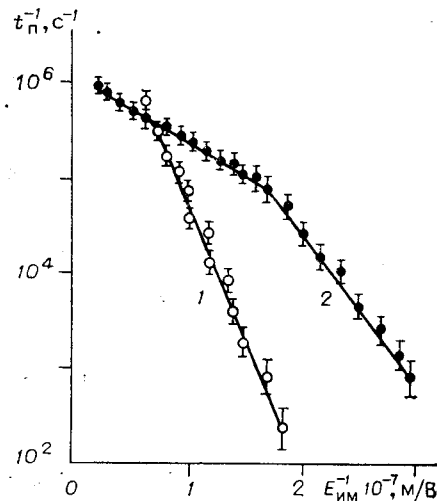


Рис. 2. Зависимость времени переключения поляризации от напряженности импульсного электрического поля:

1 — для образца толщиной 6 мкм с $l = 2,5-3$ мкм; 2 — для образца толщиной 4 мкм с $l \approx 1$ мкм.

Имеют место два характерных режима изменения J_t и соответственно $\Delta n(t)$ после воздействия на образец импульсом напряжения. В случае когда к образцу приложено постоянное поле смещения E_{\pm} , совпадающее по полярности с импульсом напряжения $E_{\text{им}}$, изменение J_t определяется фронтом импульса (длительностью менее 10^{-6} с) с последующим выходом на участок насыщения (рис. 1, кривая 1). Когда же полярности напряжения смещения и импульса противоположны, наблюдается характерный участок изменения интенсивности прошедшего света, указывающий на изменение знака $\Delta n_{\text{инд}}$ и, следовательно, обращение поляризации (см. рис. 1, кривая 2). При этом время переключения t_p зависит от напряженности импульсного электрического поля $E_{\text{им}}$ (рис. 2) следующим образом:

$$t_p^{-1} = t_{\infty}^{-1} \exp(E_0/E_{\text{им}}).$$

Следует отметить, что вариацией размеров зерен можно добиться изменения параметров t_{∞} , E_0 . В частности, кривая 2 на рис. 2 получена для образца с $l \approx 1$ мкм; именно с таких значений l начинает наблюдаться заметный электрооптический эффект [4].

Зависимость J_t от амплитуды импульса напряжения характеризуется наличием начального участка $J_t \sim E^2$, затем, начиная с $E_{\text{кр}}$, J_t линейно возрастает с увеличением $E_{\text{им}}$. Наблюдается асимметрия величины J_t относительно полярности импульса напряжения.

Для указанных образцов характерна петля гистерезиса $\Delta n_{\text{инд}}(E_{\pm})$. Ана-

от его полярности, значительно превышает значение t_d (в диапазоне полей $3 \cdot 10^6 \div 3 \cdot 10^7$ В/м), т. е., несмотря на существенное изменение $I(t)$, значение $J_s(t)$ остается тем же. Кроме того, освещение образца светом из области примесной проводимости ($\lambda = 514,5$ нм) до интенсивностей $\sim 10^5$ Вт/м² не оказывает заметного влияния на поведение J_s .

Величина $I(t)$ в области указанных значений полей значительно превышает величину тока переполаризации, наблюдаемого при воздействии на образец биполярных импульсов напряжения. Этот момент является спецификой тонких сегнетоэлектрических слоев. Для выделения из полного тока составляющей тока переполаризации (см. рис. 1, кривая 4) в плечи мостовой схемы включались два идентичных образца, находящихся под постоянным смещением разной полярности.

Указанные закономерности дают возможность сделать следующие выводы.

1. В исследованных образцах имеет место однородность электрооптических свойств сегнетоэлектрической пленки по толщине, на что указывает неизменность J_s от напряженности поля $E_{\text{им}}$ свидетельствует о том, что в переполаризации основную роль играет процесс зародышеобразования. Прораствание доменов сквозь пленку является в данном случае при столь высоких полях процессом более быстрым.

3. Асимметрию относительно полярности напряжения в поведении J_s и I (а также гистерезиса), несмотря на идентичность материала электродов, можно отнести за счет специфики формирования сегнетоэлектрической пленки на поверхности одного из электродов (в течение 25—30 ч при температуре 700—750°C) и образования вблизи этой поверхности узкого переходного слоя.

Проведенные исследования указывают на качественное соответствие характера проявления электрооптических эффектов в пленках ниобата бария — стронция и соответствующего кристалла. При этом возможность создания в пленках высокой напряженности поля, не достигаемой в кристалле, позволяет исключить применение постоянного смещения, которое характерно для скоростных модуляторов света на основе ниобата бария — стронция.

Высокое значение электрооптического коэффициента $\gamma_{\text{эф}} \approx 5 \cdot 10^{-9}$ В/см, большая апертура (50—100 мм), характерные для описанных пленок, и глубина модуляции светового потока 80—95% указывают на перспективы широкого практического использования тонкопленочных модуляторов на основе линейного электрооптического эффекта. Однако эффективность, определяемая отношением переменной составляющей интенсивности света на выходе модулятора к интенсивности падающего света, пока не превышает 10^{-3} , но оценки и практический опыт указывают на возможность увеличения эффективности, по крайней мере, на два порядка.

Авторы выражают глубокую благодарность В. М. Егорову за большую работу по приготовлению образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косцов Э. Г., Мишин А. И. Особенности построения оптических цифровых вычислительных машин.— Микроэлектроника, 1977, т. 6, вып. 2.
2. Барчукова В. П. и др. Модуляторы на основе полужизолирующего арсенида галлия.— Электрон. техника. Сер. III, 1972, № 2.
3. Агрофенин Ю. В. и др. Модулятор света на эффекте Франца — Келдыша.— Микроэлектроника, 1973, т. 2, вып. 4.
4. Antsigin V. D., Kostov E. G., Malinovsky V. K., Sterelyukhina L. N. Electrooptics of thin ferroelectric films.— Ferroelectrics, 1981, vol. 38, p. 761—763.
5. Chaynoweth A. G. Surface space-charge layers in barium titanate.— Phys. Rev., 1956, vol. 102, N 3, p. 705—714.

Поступило в редакцию 22 апреля 1983 г.