

05; 06.3

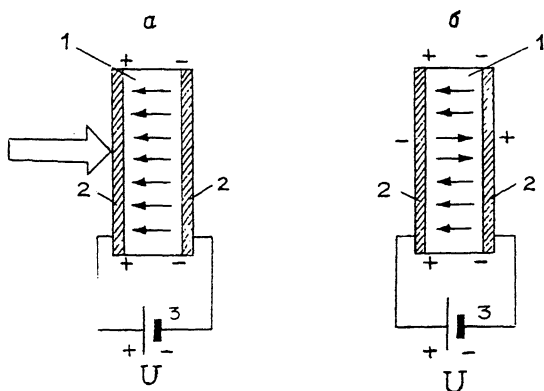
© 1993

ТЕРМОСЕГНЕТООПТИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ
В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХВ.В. Л е м а н о в, А.В. С о т н и к о в,
Н.К. Ю ш и н

Развитие технологии тонких сегнетоэлектрических пленок привело к появлению новых запоминающих устройств – сегнетоэлектрических элементов памяти с произвольной выборкой (FRAM), которые обладают такими преимуществами, как энергонезависимость, радиационная стойкость, высокая временная стабильность, принципиальная возможность сочетания свойств постоянной и оперативной памяти в одном элементе [1–2].

Принцип действия сегнетоэлектрической ячейки памяти состоит в переключении направления электрической поляризации внешним электрическим полем, так что одно направление соответствует логической „1”, а противоположное – логическому „0”. По аналогии с известным принципом термомагнитооптической памяти [3, 4] можно предложить термосегнетооптическую запись информации (FORAM – сегнетооптическая память с произвольной выборкой). В процессе такой записи сегнетоэлектрическая пленка нагревается локально с помощью лазерного луча до температуры, близкой или большей температуры сегнетоэлектрического фазового перехода T_C . Нагретый участок находится под действием внешнего электрического поля, направление которого противоположно направлению спонтанной поляризации, а величина значительно меньше коэрцитивного поля при комнатной температуре. В результате в части пленки, нагретой лазерным лучом, происходит реполяризация, т.е. направление спонтанной поляризации меняется на противоположное (рис. 1).

Для считывания записанной информации можно использовать несколько способов, основанных на эффектах, зависящих от направления вектора поляризации. Считывание может быть неразрушающим оптическим на основе регистрации оптической активности, двупреломления, фотогальванического, пьезо- и пироэлектрического эффектов. Кроме того, возможно и разрушающее считывание путем подачи электрических импульсов реполяризации [1–2]. Запись можно осуществить сканированием лазерного излучения от элемента к элементу (например, с помощью акустооптического дефлектора), или используя матрицу лазеров или освещая сегнетоэлектрическую пленку широким пучком света через управляемый транспарант. Считывание информации проводится слабым оптическим излучением, причем, как и при записи, возможно последовательное считывание сканированием светового пучка по поверхности пленки или при



Термосегнетооптическая запись информации: а – нагрев, б – охлаждение; 1 – сегнетоэлектрическая пленка, 2 – электроды, 3 – источник напряжения U . U – приложенное напряжение, поле $E = U/d$ меньше коэрцитивного при комнатной температуре.

освещении пленки широким пучком света с параллельным считыванием всего массива информации.

Проведем оценки некоторых характеристик термосегнетооптической записи. Прежде всего оценим предельные физические параметры такой записи. Минимальный размер домена, в принципе, может быть порядка длины когерентности (1 – 10 нм), а физический предел для времени переключения такого домена – порядка обратной частоты соответствующих оптических фононов. Тогда для плотности записи мы получим величину $\sim 10^{12}$ бит/см² при временах переключения порядка 10^{-13} с. Однако, если учесть реально наблюдаемые размеры доменов и времена переключения, а также ограничения, которые вносятся техническими характеристиками самой системы записи-считывания (дифракционный предел фокусирования луча лазера, быстрдействие акустооптического дефлектора и др.), то для плотности записи получим $\sim 10^8$ бит/см² при времени переключения 1 – 10 нс и среднем времени выборки (при последовательном считывании) около 10 мкс.

Оценка интенсивности лазера, которая требуется для осуществления записи, проводится обычным образом [4]. Для нагрева участка пленки объемом V до температуры, превышающей на ΔT исходную температуру, необходима энергия $W = C \cdot V \cdot \Delta T$, где C – теплоемкость. Для домена диаметром 1 мкм при толщине пленки 1 мкм и при типичных значениях теплоемкости около 3 Дж/К·см³ получаем, что для $\Delta T = 200$ К необходима энергия $W \approx 10^{-9}$ Дж. При длительности импульса лазера 10 и 100 нс, это отвечает мощности 100 и 10 мВт соответственно.

Рассмотрим далее вопрос о материалах, перспективных для сегнетооптической памяти. Круг таких материалов достаточно широк [5, 6]; мы ограничимся только некоторыми примерами (в скобках

будем указывать точечные группы симметрии параэлектрической и сегнетоэлектрической фаз):

Титанат свинца, $PbTiO_3$, ($O_h \leftrightarrow C_{4v}$), $T_c = 495^\circ C$.

Твердые растворы цирконата - титаната свинца (ЦТС), $PbTiO_3 - PbZrO_3$ ($O_h \leftrightarrow C_{4v}$ или $O_h \leftrightarrow C_{3v}$), $T_c = 230-495^\circ C$ в зависимости от состава.

Титанат бария, $BaTiO_3$ ($O_h \leftrightarrow C_{4v}$), $T_c = 120^\circ C$.

Твердые растворы титаната бария-стронция, $BaTiO_3 - SrTiO_3$ ($O_h \leftrightarrow C_{4v}$), $T_c = (400x - 273)^\circ C$, где x - относительная доля Ва.

Германат свинца, $Pb_5Ge_3O_{11}$ ($C_{3h} \leftrightarrow C_3$), $T_c = 178^\circ C$.

Молибдат гадолиния, $Gd_2(MoO_4)_3$, ($D_{2d} \leftrightarrow C_{2v}$), $T_c = 159^\circ C$.

Титанат висмута, $Bi_4Ti_3O_{12}$, ($C_s \leftrightarrow D_{2d}$), $T_c = 675^\circ C$.

Перечисленные кристаллы характеризуются относительно низкими температурами сегнетоэлектрического фазового перехода и высокими значениями фотогальванического, пироэлектрического и пьезоэлектрического эффектов. Кристаллы германата свинца обладают оптической активностью, знак которой зависит от направления спонтанной поляризации, а молибдат гадолиния и титанат висмута являются двусными кристаллами с дупреломлением, зависящим от поляризации. Для всех перечисленных сегнетоэлектриков развита технология получения высококачественных тонких пленок.

Проведем теперь краткий анализ эффективности различных оптических методов считывания записанной информации.

Оптическая активность. Плоскость поляризации линейно поляризованного света, прошедшего через пленки толщиной d , поворачивается на угол $\theta = \rho \cdot d$, где ρ - удельная оптическая активность. Для германата свинца при длине волны $\lambda = 0.6$ мкм $\rho = 6$ град/мм, что при $d = 10^{-4}$ см дает $\theta \approx 0.4'$, т.е. различие в углах поворота для света, прошедшего через домены с противоположной поляризацией, будет составлять $0.8'$. Такой поворот легко зарегистрировать, но отношение сигнал-шум будет недостаточно высоким. При магнитооптической записи [3, 4] адекватное значение сигнал-шум получается при углах около $15'$ (эффект Керра). Таким образом, для получения высокого отношения сигнал-шум в случае сегнетооптической памяти необходимо либо увеличить толщину пленки, либо перейти к более коротким длинам волн, где оптическая активность выше.

Оптическое дупреломление. Сдвиг фаз для света с поляризацией вдоль осей a и b составляет $\psi = 2\pi \cdot (n_a - n_b) \cdot d / \lambda$. Знак сдвига зависит от направления спонтанной поляризации. Типичными значениями являются $(n_a - n_b) \approx 5 \cdot 10^{-4}$, тогда при $\lambda = 0.5$ мкм и $d = 1$ мкм получаем $\psi = 0.4$, т.е. достаточно большую величину.

Пироэлектрический эффект. Локальный нагрев считывающим лазером участка пленки приводит к пироотклику, знак которого зависит от знака спонтанной поляризации: $\Delta P_i = \gamma_i \Delta T$, где ΔT и ΔP_i - изменения температуры пленки и соответствующее изменение поляризации, γ_i - коэффициент пироэффекта (тензор

первого ранга). Типичными являются значения пьезоэлектрического коэффициента порядка 10^{-8} Кл/К·см², вольтовая чувствительность в этом случае может составлять единицы Вольт/Ватт при достаточно высоком быстродействии.

Фотогальванический эффект. При освещении кристаллов без центра инверсии возникает фотогальванический ток: $j_i = \chi_{ikl} e_k e_l I$, где I – интенсивность света, e_k – компоненты единичного вектора электрического поля световой волны, χ – фотогальванический тензор (тензор третьего ранга). Более или менее типичные значения χ для кристаллов с хорошо выраженным фотогальваническим эффектом лежат в пределах (10^{-10} – 10^{-9}) А/Вт. При этом вольт-ваттная чувствительность может оказаться на порядок хуже, чем в случае пироэффекта, но в то же время является вполне достаточной для уверенной регистрации сигналов.

Пьезоэлектрический эффект. Локальный нагрев пленки лазерным излучением приводит к упругим деформациям, связанным с тепловым расширением. При типичных значениях коэффициента теплового расширения ($\sim 10^{-5}$ К⁻¹) и соответствующих пьезокоэффициентов ($\sim 10^{-9}$ В/м) вольт-ваттная чувствительность в этом случае может оказаться выше, чем для пироэффекта.

Таким образом, термосегнетооптическая память, принципы построения которой предложены и рассмотрены в данной работе, представляет собой новый тип памяти на сегнетоэлектрических пленках. Основные характеристики такой памяти оказываются конкурентно-способными по сравнению с другими, известными типами памяти.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S c o t t J.F. et al. // J. Appl. Phys. 1991. V. 70. P. 382.
- [2] P a z d e A r a u j o C.A. et al. // Ferroelectrics. 1990. V. 104. P. 201.
- [3] М а й к л д ж о н У.М. // ТИИЭР. 1986. Т. 74. С. 112.
- [4] С м о л е н к с к и й Г.А., Л е м а н о в В.В. Ферриты и их технические применения. Л.: Наука, 1975. С. 220.
- [5] Л а й н с Д., Г л а с с А. Сегнетоэлектрики и родственные материалы. М.: Мир, 1981. 736 с.
- [6] Б а р ф у т Д., Т е й л о р Дж. Полярные диэлектрики и их применения. М.: Мир, 1981. 526 с.

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

Поступило в Редакцию
24 декабря 1992 г.