

- [5] Л я м ш е в Л.М. - Успехи физ. наук., 1981, т. 135, № 4, с. 637.
- [6] К а г а н о в М.И., Ф и к с В.Б. - Успехи физ. наук, 1986, т. 150, № 1, с. 159.
- [7] Г р и г о р о в Л.Н. - Деп. в ВИНТИ 5.08.87, № 5633-В 87.
- [8] Г р и г о р о в Л.Н. - Деп. в ВИНТИ 5.08.87, № 5634-В 87.

Институт синтетических
полимерных материалов
АН СССР

Поступило в Редакцию
17 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 11 12 июня 1988 г.

НОВЫЙ МЕХАНИЗМ ОПТИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ В АМОРФНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

Г.П. Б е р м а н, В.А. С е р е д к и н,
Г.И. Ф р о л о в, В.Ю. Я к о в ч у к

Пленки РЗМ-ПМ в настоящее время рассматриваются как перспективный материал для магнитооптической памяти [1-2]. В этих устройствах для записи и считывания информации используется лазерный луч. Принято считать, что запись производится термомагнитным способом: нагрев при постоянном подмагничивающем поле (H_0) локальных участков среды до пороговых температур, когда H_0 превышает значение коэрцитивной силы нагретых участков. Наиболее подробно описана в литературе и широко применяется на практике запись при температуре Кюри (T_c) [2-3].

Нами были проведены исследования по регистрации на пленках $R-Fe(R-Tb, Dy)$ световых импульсных излучений в широком диапазоне длин волн ($\lambda=0.34-10.6$ мкм) при изменении длительности излучений от 10^{-11} до 10^{-3} с. Были получены результаты, трудно объяснимые с позиций термомагнитного принципа записи (ТМЗ). Во-первых, при ТМЗ динамический диапазон регистрируемых энергий $U_{max}/U_{min} \lesssim 3$ (U_{min} - минимальная энергия, которая может быть зарегистрирована в данных условиях; U_{max} - энергия, при которой наблюдаются необратимые изменения параметров материала) в нашем случае > 10 . В качестве примера на рис. 1 приведен вид структуры пучка излучения импульсного лазера CO_2 при различных уровнях энергии излучения. Регистрация осуществлялась на пленке $DyFe$. При изменении энергии излучения от $U_{min}=0.15 \cdot 10^{-3}$ Дж до $U_{max}=10^{-2}$ плотность энергии в центре записанного участка возрастает более, чем в 10 раз. Если бы реализовался механизм ТМЗ, температура в центре участка должна была превы-

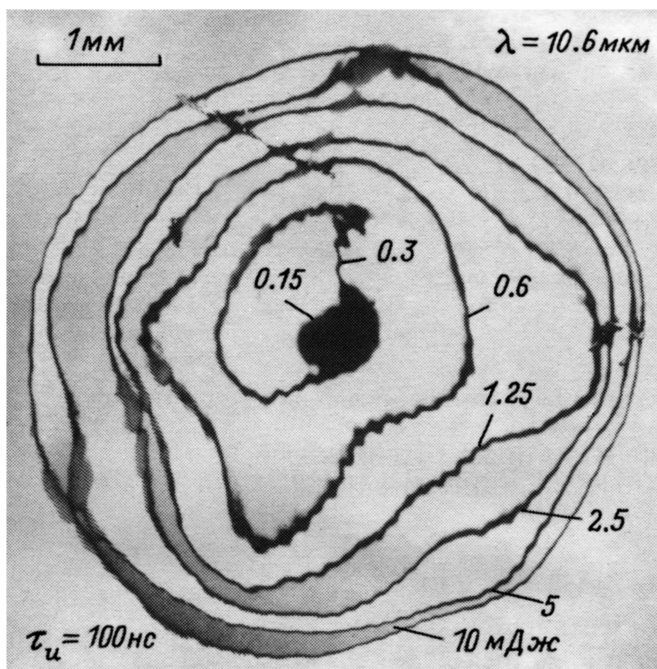


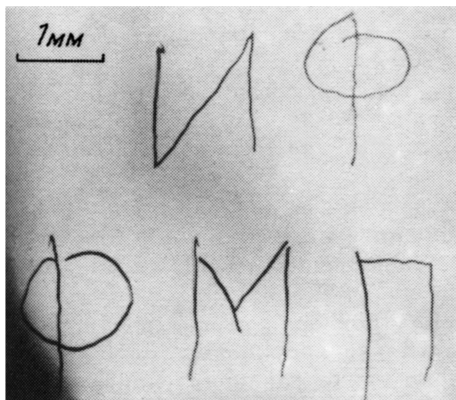
Рис. 1.

силь температуру испарения пленки. Во-вторых, при переходе от наносекундных импульсов к пикосекундным наблюдается значительное увеличение энергетической чувствительности – снижение U_{min} . При этом облученный участок нагревается до температуры $T \ll T_c$. Факт записи информации в этом случае также не может быть объяснен в рамках термомагнитного механизма.

Для объяснения этих результатов предложен другой механизм записи, учитывающий большую магнитострикцию в сплавах РЗМ-ПМ. В дальнейшем, по аналогии с термомагнитной записью, будем называть этот принцип упругомагнитным (УМЗ).

Пусть энергия лазерного пучка поглощается локальным участком пленки толщиной h/α_0 (α_0 – коэффициент поглощения света), $D/h \gg 1$ (D – диаметр облучаемого участка). Если длительность лазерного импульса τ достаточно мала, так что эффекты диффузии тепла не успевают проявиться, то вся поглощенная энергия идет на увеличение внутренней энергии U вещества локального участка. Будем считать, что за время τ в облучаемом участке устанавливается состояние термодинамического равновесия, а возможное изменение размеров участка связано лишь с изменением h (оценки показывают, что оба

Рис. 2.



эти допущения являются оправданными). Основное термодинамическое тождество запишется в виде $dU = TdS + P\delta\alpha h$ ($\delta = \frac{\pi D^2}{4}$).

В качестве уравнения состояния воспользуемся обобщенным законом Гука: $P = E \left\{ \frac{h}{h_0} [1 - \alpha(T - T_0)] - 1 \right\}$, где:

α - коэффициент линейного температурного расширения, E - модуль Юнга, $h_0 = h(T - T_0)$, $P = P_0 = 0$. Если за время им-

пульса упругие деформации не успевают проявиться ($\tau < h/c_s$), где c_s - скорость звука), то процесс поглощения лазерной энергии можно считать изохорическим ($h = h_0 = \text{const}$). В этом случае имеем для изменения температуры $\Delta T = T - T_0$ и давления P : $\Delta T = \Delta U / \rho V C$, $P = -E \alpha \Delta T$. Выпишем также характерные параметры для случая адиабатического процесса ($S = \text{const}$), который может давать вклад при более длинных импульсах

$$(\tau \sim h/c_s): \Delta T = (T_0 \alpha / \rho) \sqrt{\frac{E \Delta U}{V}}; P = -\frac{\rho C \Delta T}{T_0 \alpha} \Delta h / h_0 = \rho C \Delta T / T_0 \alpha E,$$

где ΔU - передаваемая лазерным импульсом энергия; ρ , C , V - плотность, теплоемкость и объем облучаемого участка; $\Delta h = h - h_0$.

Приведем численные оценки изменения температуры и давления. Выбираем экспериментально реализуемые параметры; энергию $\Delta U = 0.5 \cdot 10^{-11}$ Дж и длительность импульса $\tau = 30 \cdot 10^{-12}$ с ($h_0 = 10^{-5}$ см; $D = 10^{-4}$ см; $E = 3 \cdot 10^{11}$ Н/м²; $\alpha_0 = 10^{-5}$ град⁻¹; $\rho = 8$ г/см³; $C = 400$ Дж/кг град). В этом случае для изохорического процесса имеем: $\Delta T = 20^\circ$; $P = -600$ кг/см²; для адиабатического: $\Delta T = 4.1^\circ$; $P = -4.3 \cdot 10^4$ кг/см²; $\Delta h / h_0 = -1.3 \cdot 10^{-2}$. Как видно, в обоих случаях и развивается давление сжатия.

Оценим достаточно ли величины этих давлений для перемагничивания локальных участков. Для магнестрикционного материала можно записать: $U = -\lambda_s P$, где U - магнитоупругая энергия, вызванная давлением P , λ_s - коэффициент магнестрикции. Чтобы перемагнитить участок, U должна быть сравнима с энергией одноосной магнитной анизотропии K_u , т. е. необходимое давление $P \approx K_u / \lambda_s$. Для аморфных пленок $DyFe$ $K_u \approx 10^5$ Эрг/см³, $\lambda_s = 10^{-4}$ [4]. Тогда $P \approx 10^3$ кг/см². Таким образом, при облучении локального участка коротким импульсом оптического излучения можно практически без нагрева получить в нем давления, достаточные для компенсации

энергии магнитной анизотропии. Если поместить этот участок в небольшое подмагничивающее поле H_0 , то произойдет его перемагничивание.

Из предложенной модели вытекают следующие два вывода.

1. Запись информации на пленках РЗМ-ПМ можно проводить при постоянной температуре, накладывая на них определенное статическое давление.

2. В диапазоне длительностей импульсов световых излучений τ от 10^{-7} до 10^{-10} с энергетическая чувствительность среды U_{min} будет тем выше, чем короче излучение: $U_{min}(\tau) \propto \tau$; в области $\tau \leq 10^{-11}$ с.

Эти выводы были проверены. Как показано выше, для перемагничивания локального участка пленки необходимо приложить давление $\rho \propto 10^3$ кг/см². Примерно такие давления развиваются при письме твердым карандашом. На рис. 2 представлен пример записи немагнитным наконечником на пленке TbFe.

При изменении длительности лазерного импульса нами были получены следующие энергетические чувствительности: $\tau = 10^{-7}$ с ($\lambda = 10.6$ мкм), $U_{min} = 2 \cdot 10^{-2}$ Дж/см²; $\tau = 2 \cdot 10^{-8}$ с ($\lambda = 0.34$ мкм), $U_{min} = 3 \cdot 10^{-3}$ Дж/см²; $\tau = 3 \cdot 10^{-11}$ ($\lambda = 0.53$ мкм), $U_{min} = 4 \cdot 10^{-4}$ Дж/см².

Последнее значение U_{min} близко к асимптотическому.

В заключение отметим, что использование явления УМЗ расширяет функциональные возможности устройств оптической памяти на пленках РЗМ-ПМ, т. к. при этом значительно сокращается время цикла запись-стирание.

Авторы выражают благодарность М. Ш. Ерухимову за полезные дискуссии.

Л и т е р а т у р а

- [1] White R.W. - J. Appl. Phys., 1985, v. 57(1), p. 2996.
- [2] Майкепсое У.М. - ТИИЭР, 1986, v. 74, p. 112.
- [3] Shin S.C. - J. 3M, 1986, v. 61, p. 301.
- [4] Clark A.E. Handbook of the physics and chemistry of rare earths, - Norbt-Holland Publishing Company, 1979, ch 15, p. 231.

Институт физики им. Л.В. Киренского
СО АН СССР, Красноярск

Поступило в Редакцию
21 декабря 1987 г.