

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ЗАПИСИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ТОНКУЮ ФЕРРОМАГНИТНУЮ ПЛЕНКУ

Л.М.Кляжин, В.А.Фабриков, А.В.Хромов

Для определения разрешающей способности теплового способа записи изображений на ТФП с полосовыми доменами [1] был произведен следующий эксперимент. Изображение в виде длинных светлых полос

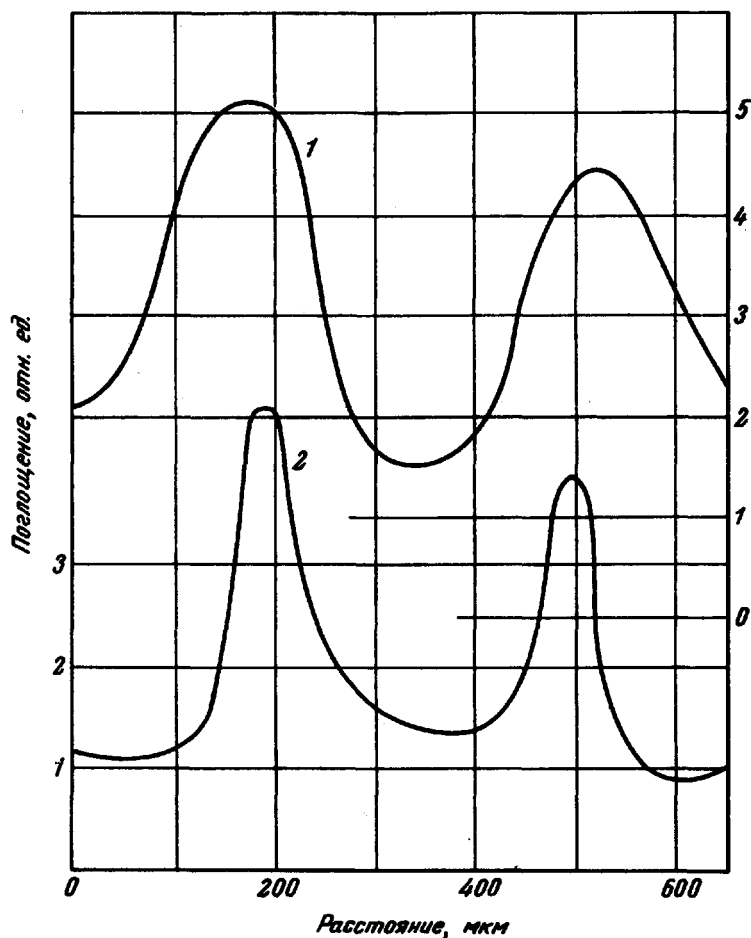


Рис. 1

шириной 60 мкм проектировалось на пермаллоевую пленку состава 82% Ni – 18% Fe толщиной $h = 5000 \text{ \AA}$ на стеклянной подложке. В плоскости пленки было приложено вращающее магнитное поле по величине на 5% ниже стартового значения [2] под углом 90° к направлению первоначальной ориентации доменов. Для визуализации записанного изображения на поверхность пленки наносился магнитный коллоид.

Наблюдение производилось в белом свете под углом дифракции зеленого света на порошковых фигурах, повторяющих доменную структуру пленки на ее поверхности [3, 4]. Роль оптического изображения играл луч рубинового лазера, пропущенный через многощелевой трафарет.

На рис. 1 (2) показана микрофотограмма изображения, полученного после засветки ферромагнитной пленки импульсом с длительностью 30 мсек (энергия в импульсе 0,02 дж). При такой экспозиции выполняется условие адиабатического нагрева элементов изображения (светлых полос) и разрешение не зависит от тепловой релаксации. Ширина полос на изображении близка к исходной величине 60 мкм. Разрешающая способность, обусловленная в данном случае только структурными свойствами пленки, достигает величины порядка 10^{-3} см. При более длительных экспозициях происходит расплывание температурных волн вследствие диффузии тепла через пленку и подложку и подавление высших пространственных гармоник изображения. Искажения, обусловленные этим эффектом, можно оценить с помощью приведенных ниже формул.

Представим усредненную по толщине пленки удельную мощность лучистого нагрева q (вт/см³) в виде ряда

$$q = (e^{-\beta_1 t} - e^{-\beta_2 t}) \sum_{n=0}^N q_n \cos \frac{2\pi n x}{D}; \quad q_0 \geq \sum_{n=1}^N q_n,$$

где D — размер пленки в направлении оси x и D/n — период n -й гармоники изображения. Пленка находится в тепловом контакте с массивной стеклянной подложкой, а также охлаждается окружающим воздухом с коэффициентом теплообмена \mathcal{H} . Засветка производится импульсом, имеющим во времени колоколообразную форму $f(t) = \exp(-\beta_1 t) - \exp(-\beta_2 t)$; $\beta_2 > \beta_1$; $t \geq 0$. Пренебрегая тепловым сопротивлением пленки в направлении ее толщины (ось z), находим решение системы уравнений теплопроводности и функцию распределения температуры в пленке:

$$\begin{aligned} \nu(x, t) = & \frac{1}{c_1 \gamma_1} \sum_{n=0}^N \sum_{l=1, 2} (-1)^{l-1} q_n \cos \frac{2\pi n x}{D} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{2n}}\right) \times \\ & \times \sum_{l=1, 2} \left\{ C_{l/n}^{(l)} \exp\left(\frac{t}{\tau_{2n}} - \beta_l t\right) \operatorname{erfc} \left[(-1)^l \sqrt{\frac{t}{\tau_{2n}} - \beta_l t} \right] + \right. \\ & \left. + D_{l/n}^{(l)} \exp\left(\frac{t}{T_{l/n}}\right) \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{t}{T_{l/n}}} \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где коэффициенты имеют значения

$$T_{1n, 2n} = \left(\frac{\lambda_2}{2hc_1 \gamma_1 \sqrt{a_2}} \pm \sqrt{\frac{\lambda_2^2}{4h^2 c_1^2 \gamma_1^2 a_2} + \frac{1}{r_{2n}} - \frac{1}{r_{1n}} - \frac{\mathcal{H}}{hc_1 \gamma_1}} \right)^{-2}; \quad (2)$$

$$C_{1n, 2n}^{(I)} = \frac{h}{2} \left[\left(\frac{1}{r_{1n}} - \beta_1 \right) h + \frac{\mathcal{H}}{c_1 \gamma_1} \pm \frac{\lambda_2}{c_1 \gamma_1 \sqrt{a_2}} \sqrt{\frac{1}{r_{2n}} - \beta_1} \right]^{-1}; \quad (3)$$

$$D_{1n, 2n}^{(I)} = \pm 4C_{1n}^{(I)} C_{2n}^{(I)} \frac{T_{2n, 1n}^{-1} - r_{2n}^{-1} + \beta_1}{T_{2n}^{-1/2} - T_{1n}^{-1/2}} T_{1n, 2n}^{-1/2}; \quad (4)$$

$$r_{1n, 2n} = \frac{D^2}{4\pi^2 n^2 a_{1,2}}; \quad (5)$$

γ_1, γ_2 — плотность, c_1, c_2 — удельная теплоемкость, λ_1, λ_2 — коэффициенты теплопроводности и a_1, a_2 — температуропроводности пленки и подложки соответственно.

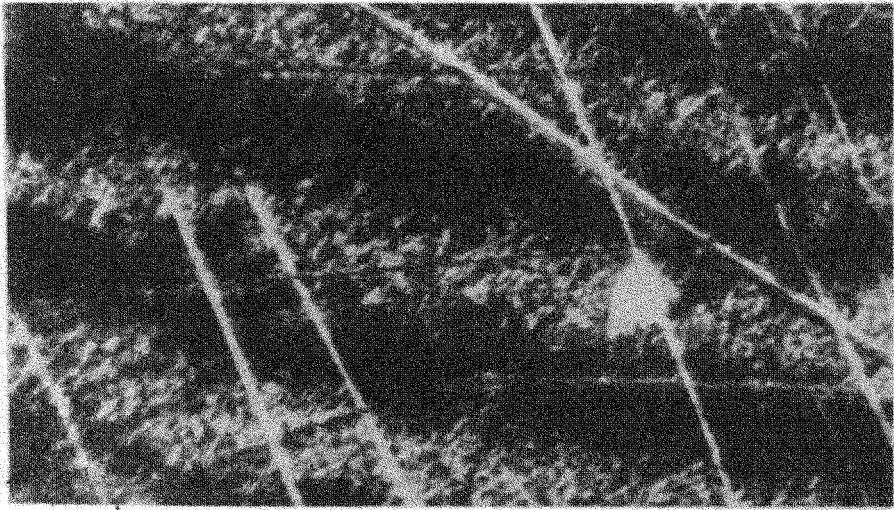


Рис. 2

С помощью решения (1)–(5) определяются характеристические времена процессов: 1) $T_{2n} = (hc_1 \gamma_1)^2 (c_2 \gamma_2 \lambda_2)^{-1}$ — для диффузии тепла из пленки вглубь подложки. При $h = 5000 \text{ \AA}$ имеем $T_{2n} = 2 \text{ мксек}$; 2) r_{2n} — для диффузии тепла в направлении оси x , преимущественно через подложку при $D/n > 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}$; 3) T_{1n} — для совместной релак-

сации температурных волн по направлению x через пленку и подложку при $2 \cdot 10^{-2} > D/n > 5 \cdot 10^{-3}$ см; 4) τ_{1n} — для преимущественной релаксации по направлению x в толщине пленки при $D/n < 5 \cdot 10^{-3}$ см. Полагая $D/n = 1,2 \cdot 10^{-2}$ см имеем $T_{1n} = 0,4$ мсек. Следовательно, при засветке миллисекундным импульсом гармоники более высокого порядка будут сильно подавлены и разрешающая способность не превысит величины порядка $1 \cdot 10^{-2}$ см. Этот теоретический результат подтверждается экспериментально. На магнитную пленку в той ее части, которая была специально затенена в первом эксперименте, была повторена запись с длительностью импульса ОКГ, равной 1 мсек, значительно большей чем T_{1n} (энергия в импульсе 0,5 дж). На соответствующей микрофотограмме рис. 1 (1') линии "размыты" до ширины ~ 150 мкм в согласии с выражением (1). На рис. 2 показана интерферограмма, записанная на тонкую магнитную пленку с помощью бипризмы Френеля при засветке наносекундным (30 мсек) импульсом рубинового ОКГ. Ширина полос на интерферограмме, равная ширине щелей трафарета в предыдущем эксперименте, составляет 60 мкм.

Всесоюзный
научно-исследовательский
институт
оптико-физических измерений

Поступило в редакцию
5 августа 1968 г.

Литература

- [1] В.М.Гинзбург, Л.М.Клюкин, В.А.Фабриков. Запись изображения на магнитную пленку импульсами когерентного света. Физика магнитных пленок. Материалы международного симпозиума. АН СССР, Иркутск, 1968, стр. 289
- [2] М.И.Духанина, Л.М.Клюкин, В.А.Фабриков. Схема и метод исследования стартовых характеристик пленок с полосовыми доменами во вращающем магнитном поле. Аппаратура и методы исследования тонких магнитных пленок. Труды всесоюзного симпозиума по аппаратуре и методам исследования тонких магнитных пленок. АН СССР, Красноярск, 1968.
- [3] E. U. Cohler, H. Rubinstein, C. Jones. Magnetically rotatable diffraction grating. J. Phys. Appl. 37, 2738, 1966.
- [4] М.И.Духанина, Л.М.Клюкин, В.А.Фабриков. Дифракция света на магнитной пленке. Изв. АН СССР, сер.Физ., 31, 782, 1967.