

ГЕНЕРАЦИЯ УПРУГИХ ВОЛН ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЕТА КАК МЕХАНИЗМ ОПТИЧЕСКОГО МАГНИТНОГО ПЕРЕХОДА В АРСЕНИДЕ МАРГАНЦА

*Г. А. Говор**

*Институт физики твердого тела и полупроводников Национальной академии Беларуси
220726, Минск, Беларусь*

И. В. Семченко

*Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»
246699, Гомель, Беларусь*

Поступила в редакцию 26 сентября 2003 г.

Приводятся результаты исследования динамических характеристик оптического магнитного перехода в арсениде марганца. Результаты рассмотрены с позиций возможной активации упругих продольных волн с поверхности, приводящей к сжатию пленки арсенида марганца и к переходу ее из ферромагнитного состояния в разупорядоченное магнитное состояние

PACS: 75.70.-i

В работах [1, 2] установлена возможность активации магнитного перехода в пленочных структурах, включающих ферромагнитный слой арсенида марганца и полупроводниковые слои арсенида индия и галлия, при изменении числа носителей в слое магнитного полупроводника. В связи с этим представляет интерес обнаруженное ранее явление изменения магнитного состояния арсенида марганца под действием световых импульсов — оптический магнитный фазовый переход [3–5]. Ряд моделей предложен для объяснения оптического перехода в арсениде марганца. В частности, например, в [6] рассмотрена возможность уменьшения магнитного момента за счет диамагнитного вклада в намагниченность.

В настоящей работе выполнено исследование динамических характеристик оптического магнитного перехода из упорядоченного ферромагнитного состояния в неупорядоченное магнитное при воздействии световых импульсов. Результаты этих исследований проанализированы с учетом возможной генерации упругих продольных волн при поглощении света.

Пленки арсенида марганца экваторного состава были получены методом осаждения из газовой фазы на стеклянную аморфную подложку. При этом формировались пленки как текстурированные с основным направлением роста [110] и вектором намагниченности, нормальным к плоскости пленки, так и изотропные пленки арсенида марганца с преимущественной ориентацией вектора намагниченности в плоскости пленки. Толщина пленки на стеклянной подложке обычно составляла от 0.5 до 2 мкм.

Исследование динамических характеристик оптического магнитного перехода в арсениде марганца проводилось на установке, ранее описанной в [3]. В качестве источника световых импульсов использовалась импульсная ксеноновая лампа. Световой импульс для исключения различного рода помех подводился к пленке арсенида марганца со стороны стеклянной подложки с помощью световода.

Измерения магнитных свойств пленки арсенида марганца проводились высокочастотным магнитометром. Измерительный контур магнитометра для улучшения его частотных свойств выполнялся на сердечнике из тонколистового пермаллоя, в зазоре которого размещалась пленка арсенида марганца. Намагничивающий контур магнитометра с большой

*E-mail: govor@ift.tp.bas-net.by

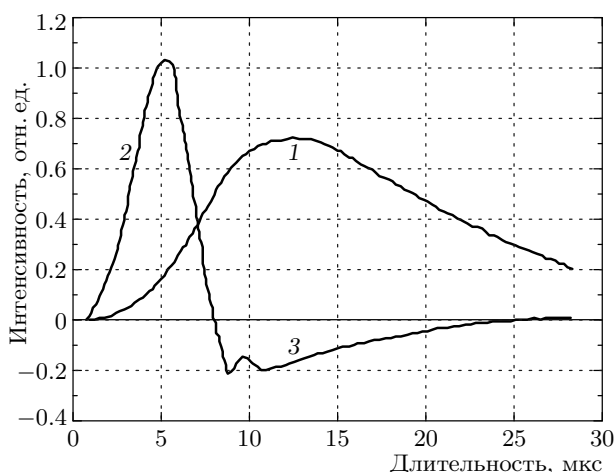


Рис. 1. Форма светового импульса (1), импульса ЭДС (2) в измерительной обмотке магнитометра, соответствующего переходу пленки арсенида марганца из упорядоченного ферромагнитного состояния в неупорядоченное, и импульс ЭДС (3) — релаксационный переход в ферромагнитное состояние в постоянном намагничивающем поле $H = 4 \text{ кА/м}$

индуктивностью и измерительный контур с малой индуктивностью, предназначенный для считывания сигнала изменения магнитного состояния пленки, были пространственно разнесены и размещены под углом друг к другу.

Регистрация формы светового импульса и изменения магнитного состояния пленки осуществлялась высокочастотным двухлучевым осциллографом.

На рис. 1 показаны формы светового импульса (кривая 1) и импульса ЭДС в измерительной обмотке при включенном постоянном намагничивающем поле (кривые 2, 3). Величина намагничивающего поля составляла $H = 4 \text{ кА/м}$. Как видно на рисунке, процесс перехода из ферромагнитного состояния в разупорядоченное магнитное состояние (кривая 2) связан с передним фронтом светового импульса, т. е. ростом светового потока. При этом релаксационный процесс возврата пленки в исходное ферромагнитное состояние (кривая 3) происходит на максимуме светового импульса, что свидетельствует о нетепловом характере наблюдаемого оптического магнитного перехода в арсениде марганца.

На рис. 2 приведены температурные зависимости изменения магнитной индукции пленки арсенида марганца толщиной 1 мкм и величины изменения индукции той же пленки при воздействии одно-

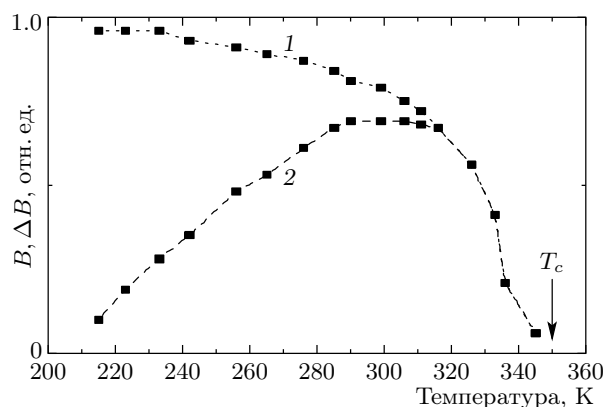


Рис. 2. Температурная зависимость магнитной индукции B (1) пленки арсенида марганца толщиной 1 мкм и ее изменения ΔB (2) под действием световых импульсов с плотностью потока энергии в импульсе 4 Вт/см^2

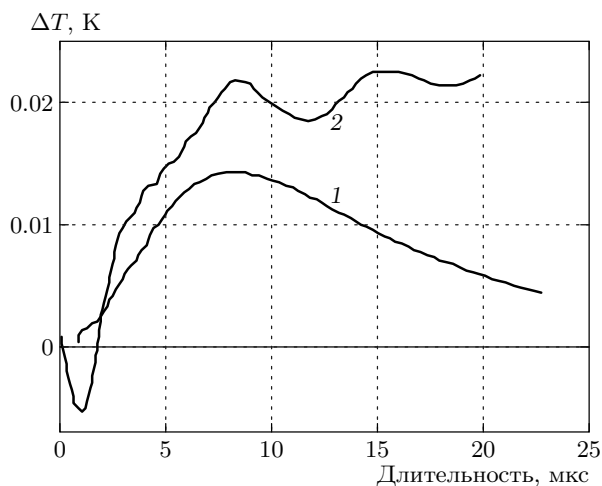


Рис. 3. Форма светового импульса (1) и импульса ЭДС с пленки титаната бария, нанесенной на поверхность пленки арсенида марганца (2)

типных световых импульсов с плотностью потока в импульсе 4 Вт/см^2 . Из приведенного рисунка видно, что выше температуры 290 К арсенид марганца в пленке толщиной 1 мкм полностью переходит из ферромагнитного в неупорядоченное магнитное состояние.

Оптический магнитный переход в арсениде марганца сопровождается объемными изменениями $\Delta V/V_0 = -0.018$. Как следствие этого в пленке возникают акустические колебания, распространяющиеся от активируемой светом поверхности в глубь пленки. Если на поверхность пленки арсенида марганца дополнительно нанести в вакууме пленку

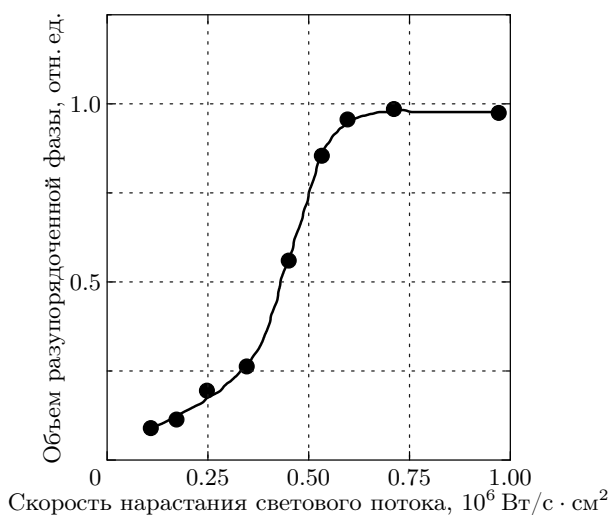


Рис. 4. Зависимость объема разупорядоченной магнитной фазы, возникающей при оптическом магнитном переходе, от скорости нарастания световой энергии в импульсе

титаната бария, то по измерению пьезоэффекта можно зарегистрировать возникающие при этом акустические колебания пленки арсенида марганца (рис. 3, кривая 2). В начальной части (рис. 3, кривая 2) наблюдается отрицательный импульс, связанный со сжатием пленки при переходе из ферромагнитного состояния в разупорядоченное магнитное состояние. В дальнейшем при релаксации возникают собственные акустические колебания на основной частоте.

Наряду с пьезоэффектом в пленке титаната бария имеет место пироэлектрический эффект, вызванный нагревом пленки в результате воздействия светового импульса. Как видно на рис. 3 (кривая 2), максимальный нагрев пленки не превышает $\Delta T = 0.02 \text{ К}$.

Исследовалось влияние скорости нарастания светового потока на оптический магнитный переход в арсениде марганца. Скорость нарастания энергии светового импульса задавалась длительностью фронта нарастания импульса в пределах от 10 до 100 мкс при сохранении значения плотности световой энергии в импульсе.

На рис. 4 приведена зависимость объема разупорядоченной магнитной фазы, возникающей при воздействии световых импульсов с различными значениями скорости нарастания светового потока. На рисунке видно, что при скоростях нарастания светового потока ниже $\Delta E/\Delta t = 2 \cdot 10^5 \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{с}$ оптический магнитный переход практически не наблюда-

ется, т. е. имеет место некоторое пороговое значение скорости нарастания светового потока, ниже которого эффект отсутствует.

При скоростях нарастания светового потока выше $\Delta E/\Delta t = 5 \cdot 10^5 \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{с}$ и плотности потока световой энергии в импульсе порядка 4 Вт/см^2 , как это видно на рис. 2, ферромагнитная пленка толщиной от 0.5 до 2 мкм полностью переходит в разупорядоченное магнитное состояние.

Природа и механизм фазовых структурно-магнитных превращений в монокристаллах арсенида марганца с учетом изменений статике и динамики решетки, магнитных, гальваномагнитных свойств кристаллов, влияния различных внешних воздействий были исследованы в работах [6–11]. Было показано, что при температуре фазового магнитного перехода $T_c = 318 \text{ К}$ в кристалле арсенида марганца имеет место структурно-магнитный переход первого рода из ферромагнитного состояния в разупорядоченное магнитное состояние. В разупорядоченном магнитном состоянии кристалл разбивается на микроблоки с ферромагнитным упорядочением. Ориентация легкой оси намагничивания в соседних блоках отличается на 120° . При наложении магнитного поля, превышающего кристаллографическую магнитную анизотропию, происходит установление ферромагнитного однофазного состояния. Разрушение последнего с переходом в парамагнитное состояние наблюдается при температуре $T_f = 400 \text{ К}$, т. е. происходит фазовый структурно-магнитный переход второго рода. Разрушение ферромагнитного состояния с образованием неупорядоченной магнитной фазы в пленке арсенида марганца происходит при температуре $T_c = 350 \text{ К}$ и по характеру несколько отлично от кристаллов (рис. 2).

Процесс оптического магнитного перехода в арсениде марганца из ферромагнитного состояния в неупорядоченное магнитное можно разделить на два этапа. На первом этапе происходит оптическая активация фазового перехода в тонком слое $50\text{--}100 \text{ \AA}$ [1, 2]. На втором этапе разупорядоченное магнитное состояние распространяется на всю глубину пленки.

С целью объяснения наблюдаемого эффекта распространения разупорядоченного магнитного состояния в глубь пленки рассмотрим возможность генерации упругих продольных колебаний среды при поглощении света. Возбуждение упругих продольных колебаний приводит к сжатию пленки арсенида марганца и понижает тем самым температуру перехода арсенида марганца в неупорядоченное магнитное состояние.

Предпочтительным направлением распространения продольных упругих колебаний является нормаль к поверхности слоя арсенида марганца (ось z), поскольку это направление коллинеарно групповой скорости световых волн, падающих на структуру. В этом случае тензор деформаций арсенида марганца имеет единственную не равную нулю компоненту:

$$\gamma_{33} = -k_3 U_{03} \sin [k_3 z - \omega(t - t_1)]. \quad (1)$$

Здесь U_{03} — амплитуда упругих продольных колебаний, k_3 — волновое число, ω — циклическая частота ультразвука, t_1 — момент генерации ультразвука. Таким образом, мы предполагаем, что выражение (1) справедливо для моментов времени $t > t_1$.

Для кристаллографической симметрии арсенида марганца класса mmm объемная плотность упругой энергии определяется следующим образом:

$$w = \frac{1}{2} C_{33} k_3^2 U_{03}^2 \sin^2 [k_3 z - \omega(t - t_1)], \quad (2)$$

где C_{33} — компонента тензора модулей упругости, при этом использованы общепринятые обозначения для пар симметричных индексов [12].

Акустический импульс возникает в начальный момент времени возрастания светового потока при $t_1 = 10^{-6}$ с (см. рис. 1). Уравнение баланса энергий имеет вид

$$\beta E = \frac{1}{2} C_{33} k_3^2 U_{03}^2 \langle \sin^2 [k_3 z - \omega(t - t_1)] \rangle_t v, \quad (3)$$

где v — групповая скорость упругих волн, угловые скобки означают операцию усреднения по времени, которая приводит к появлению множителя $1/2$, β — коэффициент передачи энергии светового потока пленке.

При значениях модуля Юнга $C = 2 \cdot 10^{11}$ Н/м² и собственной циклической резонансной частоты рассматриваемой структуры $\omega = 6.28 \cdot 10^5$ рад/с величина коэффициента $\beta = 0.46$.

В начальный момент времени t_1 , когда волновой процесс распространения упругих продольных колебаний еще не установился, упругое смещение имеет

место в основном на передней поверхности пленки арсенида марганца. Возникающее при этом давление превышает 30 кбар, что достаточно для активации фазового перехода пленки арсенида марганца из ферромагнитного состояния в неупорядоченное магнитное состояние [13, 14].

ЛИТЕРАТУРА

1. D. D. Awschalom and R. K. Kawakami, *Nature* **408**, 923 (2000).
2. D. K. Young, J. A. Gupta, E. Johnston-Galperin, R. Epstein, Y. Kato, and D. D. Awschalom, *Semicond. Sci. Technol.* **17**, 275 (2002).
3. Г. А. Говор, Н. Н. Сирота, *Письма в ЖЭТФ* **16**, 137 (1972).
4. Г. А. Говор, *ДАН БССР* **23**, 515 (1979).
5. Г. А. Говор, *ДАН БССР* **29**, 1098 (1985).
6. I. Tralle, *Eur. Phys. J. B* **22**, 3 (2001).
7. Г. А. Говор, *ФТТ* **23**, 1444 (1981).
8. Г. А. Говор, *ФТТ* **28**, 38 (1986).
9. G. A. Govor, K. Barner, and J.-W. Schunemann, *Phys. Stat. Sol. (a)* **113**, 403 (1989).
10. Г. А. Говор, *ФТТ* **33**, 3510 (1991).
11. J.-W. Schunemann, A. Lange, G. A. Govor, K. Barner, and E. Gmelin, *J. Alloys Compounds* **178**, 237 (1992).
12. Ю. И. Сиротин, М. П. Шаскольская, *Основы кристаллофизики*, Наука, Москва (1979).
13. K. Barner, R. Steans, and R. Braunstein, *Phys. Stat. Sol. (b)* **95**, 483 (1979).
14. C. P. Bean and D. S. Rodbell, *Phys. Rev.* **126**, 104 (1962).