

- [4] Б а с а р г и н И.В., М и ш и н Г.И. Препринт № 880
ФТИ АН СССР. Л., 1984. 22 с.
- [5] Б а с а р г и н И.В., М и ш и н Г.И. // Письма в ЖТФ.
1985. Т. 11. № 4. С. 209-215.
- [6] Г р а ч е в Л.П., Е с а к о в Н.И., М и ш и н Г.И. и
др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. № 5. С. 972-975.
- [7] М и ш и н Г.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. № 5.
С. 274-278.
- [8] Б а с а р г и н И.В., М и ш и н Г.И. // Письма в ЖТФ.
1985. Т. 11. № 21. С. 1297-1303.
- [9] Г о р ш к о в В.А., К л и м о в А.И., М и ш и н Г.И.,
Ф е д о т о в А.Б., Я в о р И.П. // ЖТФ. 1987. № 10.
С. 1893-1898.
- [10] Д е р ж и е в В.И., Ж и д к о в А.Г., Я к о в л е н -
к о С.И. Излучение ионов в неравновесной плотной плазме.
М.: Энергоатомиздат, 1986. 106 с.
- [11] I n g a r d U. // The Physical Review. 1966.
V. 145. N 1. P. 41-46.

Поступило в Редакцию
9 марта 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 8

26 апреля 1989 г.

06.3; 07

ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ
В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ НА ОСНОВЕ
ЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНАТА ВИСМУТА ($Bi_{12}TiO_{20}$)

В.М. А б у с е в, Е.И. Л е о н о в,
А.А. Л и п о в с к и й

В последние годы в системах записи, хранения и обработки оптической информации широко применяются монокристаллы типа силленитов [1, 2]. Изучение фотоиндуцированного поглощения света (ФИП) в таких монокристаллах позволяет существенно расширить представление об их энергетической структуре и возможностях воздействия на нее. Эффект ФИП также может быть использован при построении оптических устройств, управляемых светом. Большой интерес представляет реализация ФИП в оптических волноводах (ОВ) на основе монокристаллов типа силленитов [3].

Исследование ФИП при комнатной температуре в монокристаллических пленочных световодах $Bi_{12}TiO_{20} : Fe$ [3] ранее позволило нам определить спектральную зависимость ФИП, его зависимость от соотношения интенсивностей засвечивающего и считывающего излучения, а также обнаружить фотоиндуцированное нелинейное пропускание ОВ $Bi_{12}TiO_{20}$ [4].

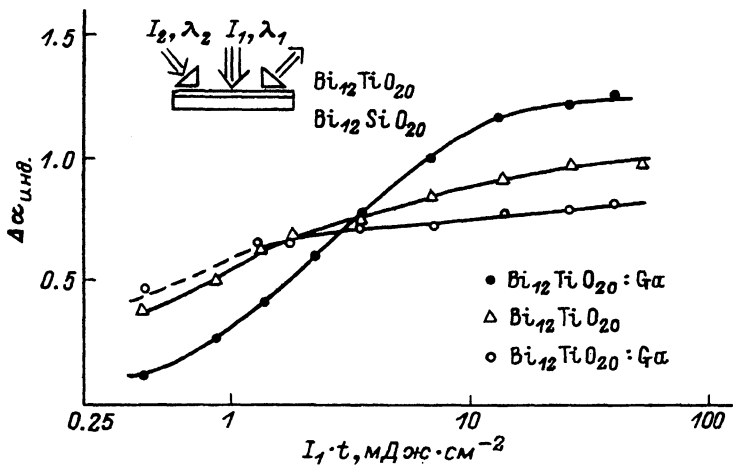


Рис. 1. $\lambda_1 = 0.4-0.48$ мкм, $\lambda_2 = 0.63$ мкм, $I_2 = 60$ мВт·см⁻².

В настоящей работе были исследованы фотоиндуцированные изменения коэффициента поглощения в планарных ОВ из $Bi_{12}TiO_{20}$, легированных Ca и Ga , а также в специально нелегированных ОВ. Волноводы были изготовлены методом жидкофазной эпитаксии на подложках из $Bi_{12}SiO_{20}$ [5]. Выбранные волноводные структуры обладали собственными оптическими потерями $0.7-1$ см⁻¹ при толщине эпитаксиального слоя ~ 30 мкм для всех образцов и отличались легирующим элементом (Ca , Ga). Рентгеноструктурный анализ исследуемых образцов показал достаточную монокристалличность сформированных эпитаксиальных пленок [5].

В экспериментах засвет ОВ осуществлялся нормально их плоскости излучением сине-зеленой области спектра, диаметр пятна засвета составлял ~ 0.55 см, длина волны зондирующего излучения — 0.63 мкм. Значения коэффициента ФИП ($\Delta\alpha_{инд}$) определялись по изменению интенсивности проходящего света [3]. Нами были исследованы зависимости величины $\Delta\alpha_{инд}$ от величины предварительной экспозиции $I_1 \cdot t$ волноводных структур, а также кинетика коэффициента $\Delta\alpha_{инд}$ при одновременном поступлении на пленку считывающего и засвечивающего пучков.

На рис. 1 представлены экспериментально полученные зависимости коэффициента $\Delta\alpha_{инд}$ от экспозиции $I_1 \cdot t$ ($\lambda_1 = 0.4-0.48$ мкм) для ОВ $Bi_{12}TiO_{20}$, легированных Ga , Ca и специально нелегированного волновода. Врезка на рис. 1 иллюстрирует использованную геометрию эксперимента. Как видно из представленных зависимостей, легирование Ga уменьшает ФИП при экспозициях до 2.5 мДж·см⁻² и увеличивает его при больших экспозициях, легирование Ca , наоборот, несколько повышает ФИП при малых и уменьшает его при больших экспозициях. Зависимости $\Delta\alpha_{инд} = f(I_1 \cdot t)$ для всех образцов имеют насыщающийся характер, но различаются наклоном линейного участка. При $I_1 \cdot t \approx 2.5$ мДж·см⁻² значение $\Delta\alpha$ для всех исследуемых структур составляет ≈ 0.7 см⁻¹. Ана-

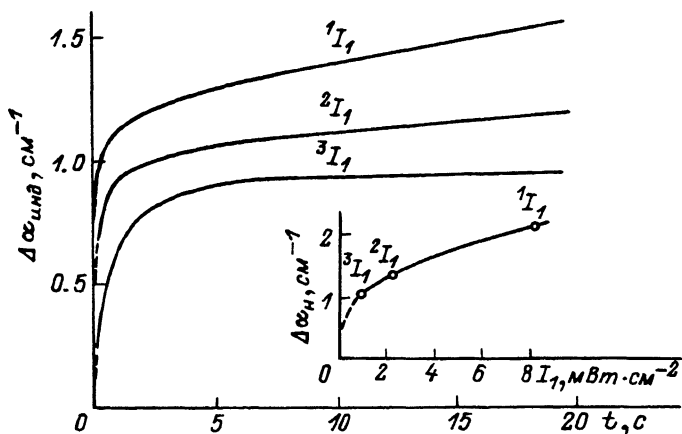


Рис. 2. Кинетические зависимости фотоиндуцированного коэффициента поглощения для оптического волновода $Bi_{12}TiO_{20} : Ca$; $\lambda_1 = 0.4-0.48$ мкм, $\lambda_2 = 0.63$ мкм, $I_2 = 2.4$ мВт·см $^{-2}$.

логичные зависимости, полученные при экспонировании образцов различными линиями излучения аргонового лазера, имеют тот же характер. Однако в этом случае зависимости $\Delta\alpha_{инд} = f(I_1, t)$ практически линейны в диапазоне $0.002-1$ Дж·см $^{-2}$, что говорит о логарифмическом характере зависимости величины индуцированного поглощения от экспозиции. Различный наклон зависимостей определяется отличием лигатуры образцов.

На рис. 2 представлены временные зависимости $\Delta\alpha_{инд}$ для ОВ $Bi_{12}TiO_{20} : Ca$ при различных значениях интенсивностей засвета I_1 , включаемого в момент времени $t = 0$. Представленные зависимости также имеют насыщающийся характер, при этом можно выделить быстровременную ($t < 10^{-1}$ с) и „долговременную“ ($t > 1$ с) составляющие зависимостей $\Delta\alpha_{инд}(t)$, обусловленные, вероятно, сложным характером установления динамического равновесия энергетических уровней в запрещенной зоне $Bi_{12}TiO_{20}$ при включении засвета.

Полученные экспериментальные результаты соответствуют процессу перезаселения энергетических уровней, расположенных в запрещенной зоне монокристаллов типа силленитов [3, 6]. В работе [3] для двухуровневой модели было получено выражение, характеризующее зависимость $\Delta\alpha_{инд}$ от соотношения интенсивностей I_1 и I_2 при $I_1 \gg I_2$:

$$\Delta\alpha_{инд} = \sigma M_2 \left[1 - \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где σ — сечение оптического поглощения, M_2 — концентрации энергетических уровней, расположенных на $\Delta E_2 \approx \frac{1.24}{\lambda_2}$ (эВ) от дна зоны

проводимости, β - отношение вероятности захвата электрона из зоны проводимости на уровень с ΔE_2 к вероятности захвата на уровень с $\Delta E_1 = \frac{1,24}{\lambda_1}$ (эВ).

Это соотношение позволяет определить величину ϵM_2 при $I_2 \rightarrow 0$ либо при $I_1 \rightarrow \infty$. Предельно большие значения интенсивностей засвета I_1 соответствуют также и экспозициям засвета, при которых наблюдается насыщение зависимости $\Delta\alpha_{\text{инд}} = f(I_1 \cdot t)$ (рис. 1). Например, для оптических волноводов $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20} : \text{Ga}$ насыщение наблюдается при $I_1 \cdot t > 1$ Дж·см⁻² ($I_2 = 2.4$ мВт·см⁻²) и составляет $\Delta\alpha_H = 2.1$ см⁻¹, что соответствует величине $\Delta\alpha_{\text{инд}}$ при $I_2 \rightarrow 0$.

Решая в квазистационарном приближении систему кинетических уравнений, описывающих процесс перезарядки глубоких примесных центров [7] для $I_1 \gg I_2$, можно получить:

$$\Delta\alpha_{\text{инд}} = \epsilon M_2 (1 - e^{-AI_1 \cdot t}), \quad (2)$$

где A - величина, характеризующая параметры системы энергетических уровней запрещенной зоны рассматриваемых монокристаллов. Полученное соотношение (2) находится в качественном согласии с ходом экспериментальной зависимости I_1 (рис. 2). Однако из экспериментальных зависимостей $\Delta\alpha_{\text{инд}} = f(t)$ для различных интенсивностей засвета I_1 (врезка, рис. 2,а) видно, что $\Delta\alpha_H$ (при $t \rightarrow \infty$) зависит от I_1 , что не согласуется с выражением (2). По-видимому, это обусловлено изменением концентрации уровней M_2 в $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ под действием засветки, связанное с трансформацией системы энергетических уровней, расположенных в запрещенной зоне [8]. При этом процесс образования новых энергетических уровней (и изменение величины M_2 в двухуровневой модели, см. (2)) отражается в быстровременной составляющей экспериментальной зависимости $\Delta\alpha_{\text{инд}} = f(t)$ (рис. 2, кривая 1, $t < 10^{-1}$ с) с последующим „долговременным“ заполнением уровней новой энергетической системы электронами из зоны проводимости. Кроме того, возникновение фотоиндуцированного поглощения при используемой волноводной геометрии ($\Delta\alpha_{\text{max}} \approx 2.1$ см⁻¹) несомненно подвержено влиянию процессов, связанных с поверхностными состояниями энергетической системы пленочных структур на основе силленитов.

В ы в о д ы

1. При создании оптических устройств записи и обработки информации на основе монокристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, легированного Ca , Ga , необходимо учитывать различный характер влияния легирующих примесей в разных диапазонах интенсивности записываемого света.

2. Для кинетической зависимости $\Delta\alpha_{\text{инд}}(t)$ наблюдается быстровременная составляющая фотоиндуцированного коэффициента поглощения, при этом индуцированное поглощение может достигать $\Delta\alpha_{\text{инд}} \approx 0.8$ см⁻¹ за $t \leq 10^{-1}$ с.

3. Легирование Ga ОВ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ уменьшает $\Delta\alpha_{\text{инд}}$ при экспозициях до 2.5 мДж·см⁻² и увеличивает его при больших экс-

позициях, легирование Ca , наоборот, несколько повышает $\Delta\alpha_{\text{лин}}$ при малых и уменьшает его при больших экспозициях.

В заключение авторы благодарят С.Э. Хабарова за предоставленные образцы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Та да К., К у н а р а У., Т а т с у -
m i М., У а м а г у с h i Т. // Appl. Opt.
1982. V. 21. N 16. P. 2953-2959.
- [2] Петров М.П., Степанов С.И., Хомен-
ко А.В. Фоточувствительные оптические среды в голографии
и оптической обработке информации. Л., 1983. 269 с.
- [3] Леонов Е.И., Хабаров С.Э., Липовский А.А.,
Абусев В.М. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 11. С. 2181-
2186.
- [4] Абусев В.М., Леонов Е.И., Липовский А.А.,
Хабаров С.Э. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 20.
С. 1268-1270.
- [5] Бондарев А.Д., Кацавец Н.И., Кудрик И.Е.,
Леонов Е.И., Хабаров С.Э. // Письма в ЖТФ.
1985. Т. 11. В. 12. С. 713-717.
- [6] Камшилин , Петров М.П. // ФТТ. 1981.
Т. 23. В. 10. С. 3110-3116.
- [7] Фридкин В.М. Физические основы электрофотографиче-
ского процесса. М., 1966. 288 с.
- [8] Гусев В.А., Детиненко В.А., Соколов А.П.//
Автометрия. 1983. В. 5. С. 34-44.
- [9] Гудаев О.А., Гусев В.А., Детиненко В.А.,
Елисеев А.П., Малиновский К. // Автомет-
рия. 1981. В. 5. С. 38-47.

Поступило в Редакцию
7 марта 1989 г.