

Наоборот, при $\lambda \ll \alpha_0$:

$$\alpha_0 = \left(\frac{3\alpha \nu \varepsilon T}{\tilde{\kappa} I E} \right)^{1/3}, \quad \tilde{\kappa} \equiv \frac{\kappa}{n} [n^3 - (n^2 - 1)^{3/2}] \quad (8)$$

- в случае слабого поглощения, где n - показатель преломления,

$$\alpha_0 = \left(\frac{8\alpha \nu \varepsilon T}{I E} \right)^{1/2} \quad (9)$$

- в случае, когда зерно полностью поглощает падающее излучение. Таким образом, при $E > 0$ лазерное излучение при определенных условиях приводит к образованию устойчивого ансамбля зерен растворяемого вещества с одинаковыми размерами. Размер зерна оказывается тем меньше, чем выше интенсивность излучения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Л и ф ш и ц И.М., С л е з о в В.В. // ЖЭТФ. 1958. Т. 35. В. 2 (8). С. 479-493.
- [2] Б о р н М., В о л ь ф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 719 с.

Кишиневский государственный университет
им. В.И. Ленина

Поступило в Редакцию
29 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15 вып. 17

12 сентября 1989 г.

05.3; 06.3; 07

ОБ ОПТИЧЕСКОЙ БИСТАБИЛЬНОСТИ ПЛЕНОК VO_2 В ОБЛАСТИ СОБСТВЕННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Ф.А. Е г о р о в, Ю.Ш. Т е м и р о в,
А.А. С о к о л о в с к и й, В.Ф. Д в о р я н к и н,
В.Т. П о т а п о в, С. Р о м а н о в а

Известно [1], что на основе явления оптической бистабильности (ОБ) могут быть созданы различные оптические устройства обработки информации. Это диктует необходимость поиска и исследования новых физических явлений, приводящих к ОБ. Вопросы возможности существования ОБ в материалах, оптическая нелинейность которых обусловлена фазовым переходом типа „полупроводник-металл“, впервые обсуждалась в работе [2]. В этой работе экспериментально наблюдалась ОБ (тепловой природы) на пленках VO_2 в СВЧ

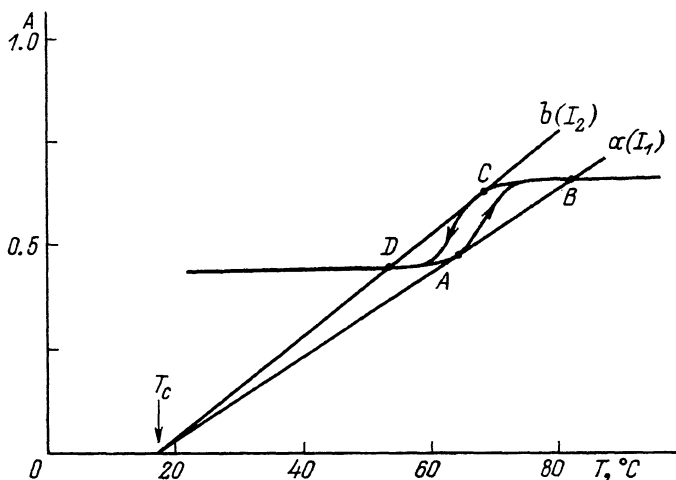


Рис. 1. Зависимость доли поглощенной в пленке VO_2 мощности излучения от температуры.

диапазоне на длине волны $\lambda = 2.2$ мкм, соответствующей области поглощения на свободных носителях. Однако в области собственного поглощения (граница спектра собственного поглощения VO_2 $\lambda_g \approx 2$ мкм [3]) оптическая бистабильность не наблюдалась, хотя индуцирование фазового перехода (ФП) излучением имело место. На основании численных оценок был сделан вывод, что для наблюдения ОБ необходимы низкие температуры окружающей пленку VO_2 среды. Например, для $\lambda = 1.15$ мкм температура окружающей среды не должна превышать 23 К.

В данной работе сообщается о наблюдении ОБ на пленках VO_2 в области спектра собственного поглощения на $\lambda = 1.3$ мкм при температурах окружающей среды от -20° до 50° С.

Для существования ОБ необходимо, чтобы поглощение излучения пленкой в полупроводниковой фазе A_S и металлической A_m удовлетворяли соотношению $A_S < A_m$.

Расчет величин A_S и A_m в зависимости от толщины пленки d $A_S(d) = 1 - R_S(d) - \Pi_S(d)$ и $A_m(d) = 1 - R_m(d) - \Pi_m(d)$ (R и Π — коэффициенты отражения и пропускания пленки на $\lambda = 1.3$ мкм, излучение падает на пленку из световода, второй границей является воздух) с учетом интерференционных явлений в пленках VO_2 [4] показал, что условие для ОБ $A_S < A_m$ выполняется только для пленок с толщиной $0.02 < d < 0.2$ мкм. Максимальная разность $A_m - A_S$ достигается при толщинах $d \sim 0.1$ мкм ($A_S \approx 0.3$, $A_m \approx 0.6$). Необходимые для расчета оптические характеристики VO_2 нами были взяты из [3]. Заметим, что эти характеристики у разных авторов [5, 6] несколько различаются. При больших толщинах пленки ($d > 0.2$ мкм) условие существования ОБ ($A_S < A_m$) не выполняется,

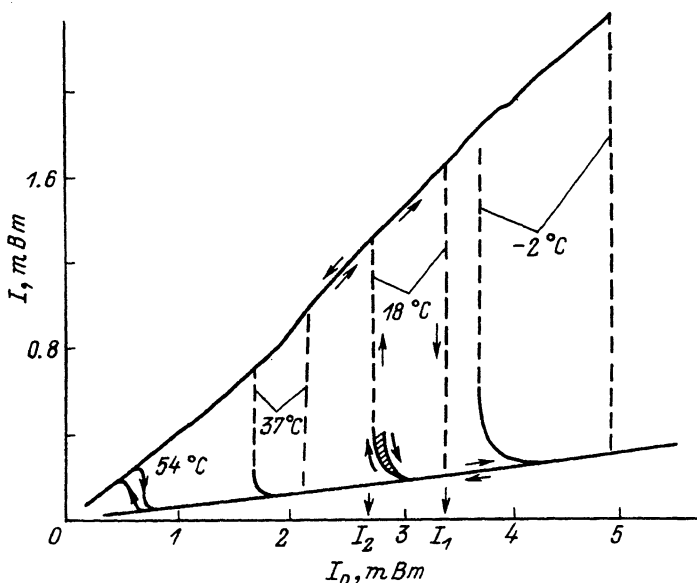


Рис. 2. Экспериментальные зависимости $I(I_0)$, полученные при разных температурах окружающей среды.

а при малых толщинах ($d \leq 0.05$ мкм) из-за сильной растянутости ФП [7] и уменьшения контраста оптических характеристик [8] наблюдение ОБ затруднено.

Таким образом, если учесть, что оптические показатели VO_2 на $\lambda = 1.3$ и 1.15 мкм практически совпадают [3], можно сделать вывод, что ОБ в области собственного поглощения не наблюдалась в [2] из-за неоптимальных толщин пленок VO_2 на рабочих длинах волн (0.63 и 1.15 мкм).

В данной работе использовались пленки VO_2 , выращенные на торце кварцевого волоконного световода методом пиролиза ацетилацетоната ванадила [9]. Полученные таким образом пленки VO_2 имели достаточно растянутый по температуре ФП (~ 10 °С) и ширину гистерезиса ~ 10 °С. После термообработки этих пленок VO_2 при температуре $450-500$ °С в газовой среде $N_2 + 0.1O_2$ растянутость ФП и ширина гистерезиса для них уменьшилась соответственно до 7 и 4 °С; эти величины оказались приемлемыми для наблюдения ОБ при температурах окружающей среды до 50 °С. Толщина пленок VO_2 , полученных на торце волокна, контролировалась по свидетелям. Используемая в работе пленка VO_2 соответствовала пленке на свидетеле с толщиной ~ 0.1 мкм.

На рис. 1 приведена экспериментальная температурная зависимость поглощения пленки $A(T) = 1 - R(T) - P(T)$ на $\lambda = 1.3$ мкм, полученная путем измерения $R(T)$ и $P(T)$: $R_m \approx 1.2$, $R_s \approx 0.25$, $P_s \approx 0.38$, $P_m \approx 0.05$. Сравнение этих величин с расчетом показывает, что примерно такие параметры соответствуют пленке с толщиной $d \approx 0.14$ мкм.

Из-за малости радиуса волокна (≈ 60 мкм) температура пленки по поверхности при ее разогреве излучением в стационарном режиме практически однородна. Поэтому, если мощность падающего на пленку излучения равна I_0 , то температура пленки $T(I_0)$ находится из уравнения теплового баланса $I_0 A(T) = B(T - T_c)$ (правая часть уравнения описывает тепловод в окружающую среду с температурой T_c от полубесконечного стержня при температуре торца T [10]), т.е. определяется точками пересечения прямой $\frac{B}{I_0}(T - T_c)$ с кривой $A(T)$. Интенсивность проходящего света $I = I_0 \cdot \Pi(T(I_0))$.

Экспериментальные зависимости $I(I_0)$ для стационарного режима, полученные при различных температурах окружающей среды, приведены на рис. 2. Для комнатной температуры приведена подробная последовательность изменений $I(I_0)$. При достижении значений $I_1 \approx \approx 3.3$ мВт (соответствующего прямой α на рис. 1) происходит резкое переключение $A \rightarrow B$, а обратное переключение $C \rightarrow D$ (прямая β на рис. 1) из металлической фазы в полупроводниковую происходит при уменьшении мощности падающего излучения до $I_2 \approx \approx 2.7$ мВт. При этом коэффициент пропускания практически возвращается на устойчивую ветвь прямого хода. В области $I_1 < I_0 < I_2$ пленка (в зависимости от предыстории) может находиться в полупроводниковой или металлической фазе. Отношение интенсивности проходящего излучения в полупроводниковой и металлической фазах в точках I_1 и I_2 равны соответственно ≈ 8 и 3. При немонотонном изменении I_0 непосредственно вблизи I_2 на зависимости $I(I_0)$ наблюдаются петли гистерезиса, связанные с частными температурными гистерезисами в зависимости $A(T)$ вблизи точки C .

Если определить температуру ФП T_f как середину петли гистерезиса $A(T)$, то для величины I_1 и I_2 получим соотношения:

$$I_1 \approx \frac{B(T_f - T_c)}{A_s}, \quad I_2 \approx \frac{B(T_f - T_c)}{A_m}. \quad (1)$$

При повышении T_c (рис. 2) значения I_1 и I_2 уменьшаются, что находится в согласии с приведенными соотношениями (1). При достаточно высоких температурах окружающей среды ($T_c > 50$ °C) условия для существования ОБ не выполняются, и происходит плавное индуцирование ФП излучением без скачкообразного изменения состояния (рис. 2, $T_c = 54$ °C).

Вследствие малого размера пленки и ее эффективного теплообмена с окружающей средой через волоконный световод, времена переключения при комнатной температуре составляли (в зависимости от скважности оптических импульсов) 0,1–1,5 мс.

Рассмотренная нами волоконно-оптическая структура на основе пленок двуокиси ванадия, обладающих ОБ, по таким параметрам, как пороговые мощности и времена переключения не уступает известным материалам с ОБ тепловой природы [1]. Следует отметить, что эти параметры могут быть существенно улучшены, т.к. они

зависят от диаметра торца волокна, характеристик пленки (толщина, размытость ФП по температуре, ширина температурного гистерезиса). Технологическая возможность вариации толщины пленок VO_2 , по-видимому, позволяет расширить диапазон длин волн, индуцирующих ОБ.

Авторы выражают благодарность В.В. Моисееву за помощь, оказанную при проведении численных расчетов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Г и б б с Х. Оптическая бистабильность. М.: Мир, 1988. 520 с.
- [2] Л о д г а у з В.А. Оптическая бистабильность и пространственно-временные неоднородности в пленках VO_2 . Канд. диссертация, СГУ, Саратов, 1985.
- [3] H a n s W. V e r l e u r, B a r k e r A.S., Jr. and C.N. B e r g l u n d // Phys. Rev. 1968. V. 172. N 3. P. 788-798.
- [4] Б о р н М., В о л ь ф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
- [5] B a l b e r g I. and T r o k m a n S. // Journ. Appl. Phys. 1975. V. 46. N 5. P. 2111-2119.
- [6] G l e n A., N y b e r g and B u h r m a n R.A. // Thin Solid Films. 1987. V. 147. P. 111-116.
- [7] B a l b e r g I., A b e l e s. B. and A r i e Y. // Thin Solid Films. 1974. V. 24. P. 307.
- [8] Б е р е с н е в а Л.А., В а с и л ь е в а Л.Л., Д е в я т о в а С.Ф., П а н ь к и н В.Г., С в и т а ш е в К.К., Ш в а р ц И.Л. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3, В. 9. С. 420-423.
- [9] С е р б и н о в И.А. Получение, свойства и применение пленок 3-окислов. Автореферат диссертации. Москва, 1977.
- [10] Теплотехнический справочник в 2-х томах / Под общей редакцией В.И. Юренева, П.Д. Лебедева. М.: Энергия, 1976. Т. 2. С. 145.

Институт радиотехники и
электроники АН СССР

Поступило в Редакцию
29 мая 1989 г.