

07; 12

© 1991

ВОЛОКОННЫЙ, ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЙ МОДУЛЯТОР ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДВУОКСИ ВАНАДИЯ

Ф.А. Егоров, Ю.Ш. Темиров,
А.А. Соколовский, В.Ф. Дворянкин,
А.В. Кухта, Н.И. Старостин

Пленки VO_2 позволяют создавать ряд управляемых светом волоконно-оптических элементов [1-3], использующих амплитудную модуляцию излучения такой пленкой, находящейся на торце многомодового световода. Значительное изменение показателя преломления Δn пленки при фазовом переходе (ФП, $\theta_n \approx 67^\circ\text{C}$), позволяет модулировать также фазу проходящего или отраженного света [4]. В связи с широким использованием фазовой (амплитудной) модуляции в различных волоконно-оптических устройствах на одномодовых световодах [5], целесообразно исследовать процессы переключения пленки VO_2 , выращенной на торце такого световода.

В данной работе приведены результаты измерений временных и энергетических характеристик оптически переключаемых пленок VO_2 с толщинами $h \approx 0.1-0.2$ мкм, полученных методом пиролиза [6] на торце одномодовых световодов из плавленого кварца с длиной волны отсечки $\lambda_0 \approx 0.8$ мкм. Температурное размытие $\Delta\theta_p$ и ширина гистерезиса $\Delta\theta_n$ пленок при ФП составляли 4 и 5 $^\circ\text{C}$. Диаметр сердцевины световода $d \approx 3.8$ мкм, оболочки ≈ 120 мкм, апертура волокна 0.1. Схема измерительной установки приведена на рис. 1. Сплавной одномодовый ответвитель „У” типа на $\lambda = 0.8$ мкм имел потери ≈ 1.5 дБ. Контроль переключения пленки проводился по изменению ее коэффициента пропускания излучения от светодиода ИЛПН-108 ($\lambda = 0.83$ мкм), измеряемого фотоприемником ФП1. Пленки VO_2 оптически переключались импульсами излучения He-Ne лазера ЛГН-215 ($\lambda = 0.63$ мкм), контролируемых фотоприемником ФП2. Для подавления переключающих импульсов перед ФП1 ставился оптический фильтр СС4. Фотоприемники на основе фотодиодов ФД-256 обеспечивали неискаженную передачу импульсов с фронтами ≥ 0.2 мкс. Модулятор управляющего оптического сигнала обеспечивал фронты импульсов ~ 0.3 мкс и позволял изменять частоту и скважность в широких пределах - от оди-
ночных до меандра.

В стационарном режиме переключения пленки с $h \approx 0.13$ мкм в металлическую фазу происходило при падающей на нее мощности излучения $\lambda \approx 0.63$ мкм, $P \approx 1$ мВт, что соответствует мощности теплоотвода от пленки $W_0 = \alpha \cdot P_0 \approx 0.7$ мВт ($\alpha = 1 - R - T$), где

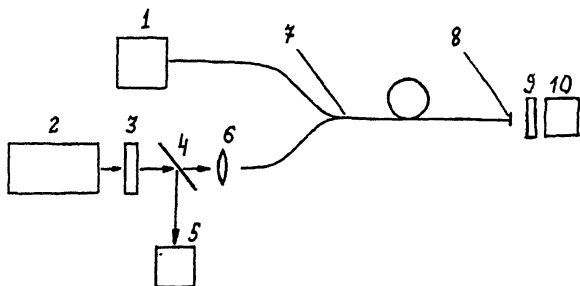


Рис. 1. Схема измерительной установки: 1 - полупроводниковый излучатель ИЛПН-108, $\lambda = 0.83$ мкм; 2 - He-Ne лазер ЛГН - 215, $\lambda = 0.63$ мкм; 3 - модулятор управляющего излучения; 4 - полупрозрачное зеркало; 5 - фотоприемник ФП2; 6 - фокусирующая линза; 7 - волоконный одномодовый ответвитель "У"-типа на $\lambda = 0.8$ мкм; 8 - пленка VO_2 на торце световода; 9 - оптический фильтр СС4; 10 - фотоприемник ФП 1.

R , T - коэффициенты отражения и пропускания пленки на $\lambda = 0.63$ мкм). Коэффициенты пропускания в полупроводниковой (Π) и металлической (M) фазах на $\lambda = 0.83$ мкм составляли соответственно 31 % и 22 %. Динамический режим работы пленки при переключениях на частоте ≈ 100 кГц и скважности импульсов 2 представлен на рис. 2. По аналогии с [7], для временной характеристики переключения использовались три параметра τ_3 , τ_n , τ_o , показанные на рис. 2; τ_3 - характеризуют запаздывание начала переключения по отношению к управляющему импульсу, τ_n - длительность непосредственно ФП в направлении $\Pi \rightarrow M$, - длительность обратного перехода $M \rightarrow \Pi$. Измерения показали, что форма сигнала переключения практически не зависит от скважности импульсов. При уменьшении частоты модулятора τ_n незначительно уменьшается, а τ_o - увеличивается. Заметное запаздывание отклика наблюдалось только при значениях управляющей мощности в импульсе P близкой к P_0 . При $P \gtrsim 1.2 P_0$, значение $\tau_3 \lesssim 0.4$ мкс. С ростом P величина τ_n уменьшалась, τ_o - росла. В интервале $P \approx 1.2-1.6 P_0$ величины τ_n и τ_o отличались незначительно, причем $\tau_n + \tau_o$, определяющая быстродействие переключателя, практически не зависела от P . Использование больших значений P нецелесообразно, т.к. приводит к увеличению τ_o , связанному, вероятно, с перегревом пленки управляющим импульсом за время его действия τ . Данные рис. 2, полученные при значении $P \approx 1.4$ мВт, показывают, что τ_n , $\tau_o \approx 1 \div 1.2$ мкс, т.е. на данной пленке можно получить фазовую или амплитудную модуляцию на частотах до $\frac{1}{\tau_n + \tau_o} \approx 450$ кГц. Отметим, что поскольку данному механизму переключения не присущи резонансные свойства, моду-

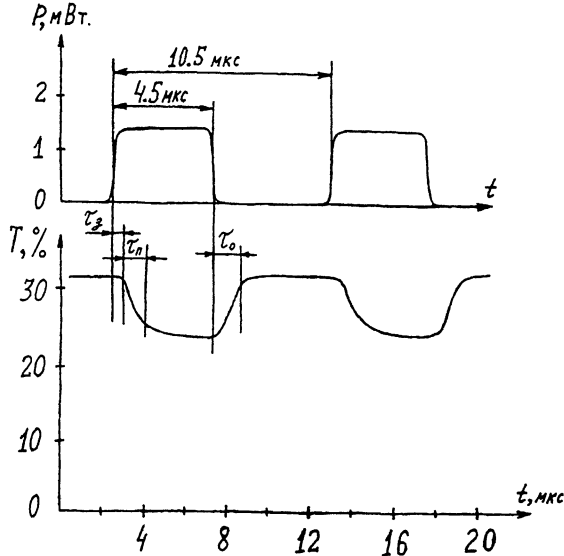


Рис. 2. Осциллограмма сигналов с фотоприемников ФП2 (кривая "а" - управляющие импульсы) и ФП1 (кривая "б" - отклик пленки VO_2).

ляционные характеристики являются частотно независимыми. Энергия переключения пленки составляет $W(\tau_z + \tau_n) \approx 1.5$ нДж.

Полученные результаты рассмотрим с привлечением представлений, развитых для многомодовых световодов с пленкой VO_2 [1]. В нашем случае из-за малости размеров активной области пленки d , определяемой сердцевинной световода по сравнению с его диаметром, можно считать, что в теплоотводе от активной области пленки участвует полупространство со стороны волокна. Используя результаты, полученные в [8], в нашем случае имеем:

$$W_0 \approx \frac{\pi^2}{4} \cdot k \cdot \Delta\theta \cdot d, \quad (1)$$

где k - коэффициент теплопроводности материала световода; $\Delta\theta = \theta_n - \theta_c$, θ_c - температура окружающей среды (20°C). Для значения $d \approx 3.8$ мкм получим $W_0 = 0.6$ мВт, хорошо согласующуюся с измеренным значением ≈ 0.7 мВт. Ввиду сложности получения точных решений для зависимости температуры пленки от времени [8], оценка значений τ_n и τ_o проводилась по аналогии с [1].

$$(W - W_0) \cdot \tau_n \sim \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h \cdot q; \quad W_0 \cdot \tau_o \sim (W - W_0) \cdot \tau, \quad (2)$$

φ — объемная плотность скрытой энергии ФП. Так как при увеличении частоты переключений и уменьшении скважности импульсов (а также в силу малости $\Delta\theta_p$ и $\Delta\theta_r$) амплитуда колебаний температуры в световоде уменьшается и ее распределение приближается к случаю стационарного распределения с температурой активной области пленки θ_n , использование соотношения (2), по-видимому, является вполне допустимым и дает $\tau_n \approx 1.1$ мкс, $\tau_0 \approx 1.6$ мкс, согласующихся с измеренными значениями. В активной области пленки с размерами d распределение температуры, влияющее на форму сигнала переключения, устанавливается за время $\tau_p \sim \frac{d^2}{16\chi} = 1.5$ мкс, где χ — коэффициент температуропроводности световода, т.е. распределение температуры устанавливается довольно быстро. Поэтому состояние пленки в данный момент слабо чувствительно к ее далекой предистории, что может объяснять слабое влияние скважности управляющих импульсов на форму сигнала переключения. Как видно из (2), значение τ_n можно снизить за счет увеличения P , кроме того, P_0 и τ_0^{min} ($\tau \approx \tau_n$) прямо пропорциональны диаметру сердцевины световода. Поэтому при заданной длине волны отсечки λ_0 световода улучшить энергетические и временные характеристики можно также при использовании световода с минимальным диаметром сердцевины, но с большой апертурой. Так, при $\lambda_0 = 0.8$ мкм на одномодовом световоде с $d = 2$ мкм (апертура 0.2) имеем $\tau_0^{min} \sim 0.5$ мкс, $W_0 \approx 0.35$ мВт — мощность, легко достижимая при использовании полупроводниковых лазеров. Времена переключения также можно снизить при использовании более тонких пленок VO_2 .

Расчеты с использованием оптических констант для VO_2 [9] показывают, что, например, на длине волны $\lambda_0 = 0.8$ мкм чистая фазовая модуляция в проходящем свете (коэффициенты пропускания в М- и П-фазах одинаковы) будет иметь место при толщине пленки $h \approx 0.095$ мкм с коэффициентом пропускания $\approx 32\%$. Для изменения фазы проходящего излучения при ФП полупроводник-металл получим $\Delta\varphi = 2\pi \frac{h}{\lambda} \cdot \Delta n = 0.8$ рад. В расчетах принималось, что VO_2 находится между двумя световодами с одинаковыми показателями преломления 1.45. Использование оптических показателей из [10] для пленки VO_2 с улучшенными параметрами приводит к возможности чистой фазовой модуляции даже при двух разных толщинах $h_1 = 0.09$; $h_2 \approx 0.16$ мкм с соответствующими коэффициентами пропускания $T_1 \approx 48\%$ и $T_2 \approx 27\%$, при этом $\Delta\varphi_1 \approx 0.85$ рад и $\Delta\varphi_2 \approx 1.62$ рад.

Таким образом, в работе показана возможность использования пленок VO_2 для создания управляемых светом волоконно-оптических фазовых или амплитудных модуляторов до частот ~ 1 МГц. В отличие от широко используемых пьезокерамических модуляторов [5], в данном случае модуляционные характеристики являются частотно независимыми. Следует также отметить, что поскольку на подложках из аморфных материалов пленки VO_2 имеют поликрист-

галлическую структуру, они не создают двулучепреломления и при перпендикулярном торце световода с пленкой поляризационный состав излучения не искажается. На заданной длине волны света параметры модулятора могут быть оптимизированы изменением толщины пленки VO_2 и/или нанесением на нее дополнительных слоев других материалов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Егоров Ф.А., Дворянкин В.Ф., Потапов В.Т., Соколовский А.А., Темиров Ю.Ш. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 12. С. 46-50.
- [2] Егоров Ф.А., Темиров Ю.Ш., Соколовский А.А., Дворянкин В.Ф., Потапов В.Т., Романенко С.Ю. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 17. С. 8-12.
- [3] Егоров Ф.А., Темиров Ю.Ш., Соколовский А.А., Дворянкин В.Ф. // Письма в ЖТФ. (в печати).
- [4] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. Л.: Наука, 1979. С. 183.
- [5] Бутусов М.М., Галкин С.Л., Орбинский С.П., Пал Б.П. Волоконная оптика и приборостроение. Л.: Машиностроение, 1987. 328 с.
- [6] Егоров Ф.А., Темиров Ю.Ш., Дворянкин В.Ф., Соколовский А.А., Потапов В.Т. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 8. С. 49-52.
- [7] Бегишев А.Р., Игнатьев А.С., Калаев В.В., Мокеров В.Г. // ЖТФ. 1979. Т. 49. № 10. С. 2276-2278.
- [8] Коротеев Н.И., Шумай И.Л. Физика мощного лазерного излучения. М.: Наука. 1991. 331 с.
- [9] Verleur H.W., Barker Jr.A.S., Vergl and C.N. // Phys. Rev. 1968. V. 172. P. 788.
- [10] Беляков В.И., Дмитриев В.А., Корнегов В.Н., Мокроусов В.В., Орлов Л.А. // Автометрия. 1981. № 5. С. 114-116.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР,
Фрязинская часть

Поступило в Редакцию
3 октября 1991 г.