

07; 12

© 1991

ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЙ ВОЛОКОННЫЙ  
ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК  $VO_2$ Ф.А. Егоров, Ю.Ш. Темиров,  
А.А. Соколовский и В.Ф. Дворянкин

Фазовый переход (ФП) металл-полупроводник в пленке  $VO_2$ , находящейся на торце волоконного световода, легко индуцируется оптическим излучением относительно небольшой мощности  $\sim 2$  мВт [1, 2]. Значительное изменение оптических характеристик пленки  $VO_2$  при ФП открывает перспективу создания различных волоконно-оптических элементов, управляемых оптическим излучением. В данной работе приведены результаты исследования по созданию оптически управляемого волоконного переключателя (ОУВП) на основе пленок  $VO_2$ . Выбором толщины пленки  $VO_2$ , работающей в качестве переключающего элемента, можно подобрать условия, при которых ФП будет сопровождаться значительным изменением в противоположных направлениях ее коэффициентом отражения  $R$  и пропускания  $T$ . В качестве примера реализации ОУВП на рис. 1 приведены 2 варианта построения схемы переключателя. Отраженное от пленки излучение и проходящее через нее принимаются световодами, представляющими 2 различных канала переключателя.

Экспериментально реализованный макет переключателя по варианту рис. 1, а с использованием многомодовых ответвителей "Y"-типа работал на длине волны  $\lambda \approx 1.6$  мкм, что достаточно близко к области минимальных потерь в световодах. Исходя из значений оптических показателей  $VO_2$  для данной длины волны [3], была рассчитана оптимальная толщина слоя  $VO_2$  на торце световода ( $h \approx 2500$  Å), при которой достигается высокий оптический контраст при ФП как на отражение, так и на пропускание. Нанесение пленки  $VO_2$  на торец кварцевого световода и контроль ее толщины осуществлялись по методу, рассмотренному в [4]. Параметры использованного световода стандартные: диаметр световодущей сердцевины - 50 мкм, кварцевой оболочки - 125 мкм, числовая апертура - 0.2. Пленка  $VO_2$  имела следующие характеристики: температура ФП  $t_n \approx 67$  °С, коэффициенты отражения и пропускания, соответственно, в полупроводниковой и металлической фазах -  $R_n \approx 1.3$  %,  $T_n \approx 76$  %,  $R_m \approx 63$  %,  $T_m \approx 0.3$  %, температурная ширина петли гистерезиса и протяженность ФП составляли, соответственно,  $\Delta t_2 \approx 6$  °С и  $\Delta t_p \approx 7$  °С.

Из рис. 1, а видно, что когда пленка находится в полупроводниковой фазе, излучение из канала 1 проходит в канал 3. В случае

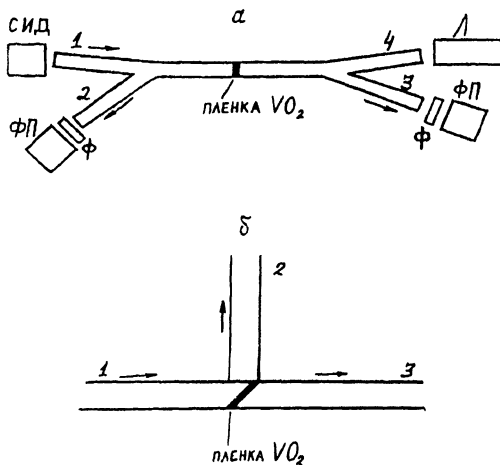


Рис. 1. Различные схемы построения ОУВП. СИД - светоизлучающий диод  $\lambda \approx 1.6$  мкм, Ф - фильтры из пластин  $GaAs$ , ФП - фотоприемники с германиевыми фотодиодами, Л - управляющий  $He-Ne$  лазер,  $\lambda \approx 0.63$  мкм.

металлической фазы излучение принимается каналом 2. Развязка между каналами переключателя, определяемая характеристиками пленки, составила в полупроводниковой фазе  $k_n = -10 \lg \frac{T_n}{R_n} \approx -17$  дБ, а в металлической -  $k_m = -10 \lg \frac{R_m}{T_m} \approx -21$  дБ. При переключениях контраст в каналах 2 и 3 оказался равным соответственно  $\frac{R_m}{R_n} \approx 50$ ;  $\frac{T_n}{T_m} \approx 250$ . Развязка между каналами зависит также от параметров разветвителей и может оптимизироваться выбором коэффициента деления разветвителей. В настоящей работе использовались симметричные разветвители с избыточными потерями  $\sim 1$  дБ. Оптическое управление переключателем осуществлялось индуцированием ФП в пленке излучением  $He-Ne$  лазера ( $\lambda = 0.63$  мкм), поступающим на пленку через канал 4 разветвителя. Для исключения попадания управляющего излучения на фотоприемники, они подключались к каналам 2 и 3 через фильтры из пластин  $GaAs$ . В квазистационарном режиме работы переключателем оптическая мощность, равная мощности теплоотвода от пленки, составила  $P_c \approx 2$  мВт, что хорошо согласуется с данными [1]. Динамический режим работы переключателя показан на рис. 2, где приведены осциллограммы управляющего излучения (кривая "а") и сигналов с выходов каналов 2, 3 (кривые "б", "в"). Времена включения  $\tau_m$  и выключения  $\tau_o$  переключателя зависели от уровня управляющей мощности, определяющей среднюю температуру пленки при заданной скважности управляющих импульсов. Максимальное быстродействие

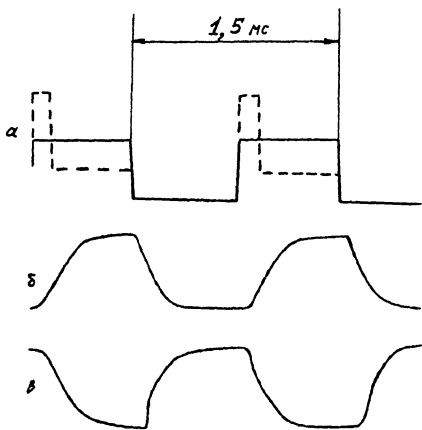


Рис. 2. Осциллограммы управляющего сигнала (кривая „а“) и сигналов с выходов каналов 2 (кривая „б“) и 3 (кривая „в“).

(для скважности 2), определяемое суммарным временем  $\tau_H + \tau_0$ , достигалось при значениях управляющей мощности  $P \approx 7$  мВт, соответствующие  $\tau_H, \tau_0 \sim 400$  мкс. Из соотношений, приведенных в [1], следует, что значения  $\tau_H$  и  $\tau_0$ , а также мощность управляющего излучения можно значительно уменьшить при использовании световодов с меньшим диаметром оболочки. Отметим также возможность существенного уменьшения величин  $\tau_H$  и  $\tau_0$  (особенно  $\tau_H$ ) при использовании управляющего излучения специальной формы, показанной на рис. 2, а пунктиром. В этом случае переключение пленки в металлическое состояние осуществляется мощным (с мощностью  $P_H \gg P_C$ ) кратковременным (с длительностью  $\sim \tau_H$ ) излучением, мощность которого затем уменьшается до значения  $P_C$ , достаточного для поддержания пленки в течение необходимого времени в металлическом состоянии. Предполагая, что диаметр торца световода с пленкой практически совпадает с диаметром светонесущей сердцевины, времена  $\tau_H$  и  $\tau_0$  можно оценить из соотношений:

$$\tau_H \sim \frac{c \cdot (t_H - t_c) + Q}{P_H}, \quad \tau_0 \sim \frac{c \cdot (\Delta t_r + \Delta t_p) + Q}{P_C}, \quad (1)$$

где  $Q = q \cdot h \cdot s$  - скрытая теплота ФП пленки  $VO_2$ ,  $q$  - ее удельное значение,  $s$  - площадь торца световода,  $t_c$  - температура окружающей среды,  $c$  - эффективная теплоемкость торца световода с пленкой  $VO_2$ .

Из (1) видно, что соответствующим увеличением  $P_H$  величина  $\tau_H$  в принципе может быть сделана достаточно малой. Что касается  $\tau_0$ , то при использовании пленок  $VO_2$  с  $\Delta t_r + \Delta t_p \lesssim 10^\circ C$  влиянием теплоемкости в (1) можно пренебречь [1]; с учетом

этого после подстановки численных значений получим

$$\tau_0 \sim \frac{h \cdot s \cdot q}{\rho} \approx 100 \text{ мкс.}$$

Таким образом, оценки показывают, что при использовании пленки  $\text{VO}_2$ , выращенной на торце световода с диаметром  $\sim 60$  мкм и специальной форме управляющего излучения, переключатель может работать с быстродействием  $\sim 100$  мкс.

Описанный нами оптически управляемый волоконный переключатель, наряду с простотой и технологичностью изготовления, по ряду параметров (быстродействие, управляющая мощность) превосходит известные термооптические переключатели [5]. Однако из-за наличия ответвителей имеет достаточно высокие потери  $\sim 10$  дБ. Отношение  $R_{\mu} / R_{\lambda}$  (как и развязку между каналами) можно значительно повысить уменьшением  $R_{\lambda}$  при соответствующем просветлении пленки  $\text{VO}_2$ . В этом случае реализация переключателя по схеме рис. 1, б обеспечит существенно меньшие вносимые потери. Вариация толщины пленки позволяет оптимизировать характеристики переключателя на заданной длине волны излучения ( $\lambda \gtrsim 1.3$  мкм).

В заключение отметим, что рассматриваемый переключатель может быть реализован также на одномодовых световодах. При этом, в соответствии с [6], управляющие мощности не превысят 1 мВт, а времена переключения, как показывают оценки, будут по крайней мере на порядок меньше значений, полученных на многомодовых световодах.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Дворянкин В.Ф., Егоров Ф.А., 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., Романова С. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 17. С. 8-12.
- [3] Hans W. Verleuer, Barker A.S., and Berlund // Phys. Rev. 1968. V. 172. N 3. P. 788-798.
- [4] Егоров Ф.А., Темиров Ю.Ш., Дворянкин В.Ф., Потапов В.Т., Соколовский А.А. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17 (в печати).
- [5] Багдасарян А.С., Гришмановский А.Н., Ескин К.Ф., Магдина И.И. Термоуправляемые оптические устройства. Информационно-аналитический обзор

по материалам отечественной и зарубежной печати. ЦООНТИ „ЭКОС“, Москва, 1987. С. 19.

[6] Комолов В.Л. // ЖТФ. 1982. Т. 52. № 3. С. 486-491.

Поступило в Редакцию  
19 марта 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 9

12 мая 1991 г.

05.4

© 1991

## КРИТИЧЕСКИЙ ТОК И ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТНЫХ ВТСП

Ю.М. Львовский

1. Создание композитных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), стабилизированных нормальным металлом, находится в стадии начальных проработок. Однако уже сейчас можно с определенностью предсказать их основные характеристики, опираясь на физическое описание диссипации в ВТСП-оксидах. Общим отличительным свойством ВТСП является интенсивный термоактивационный крип (ТК) — срыв связок квантовых вихрей с центров пиннинга под действием тепловых флуктуаций, обусловленный слабой связью с пиннинг-центрами из-за малой длины когерентности и высокой температуры. Взгляд на ТК как на ведущий механизм диссипации в ВТСП подтвержден рядом теоретических и экспериментальных работ ([1-3] и др.). Именно ТК порождает широкую переходную область температур  $T_r(j, B) < T < T_c$ , растущую с ростом магнитной индукции  $B$ , где резистивность плавно восстанавливается до уровня нормального состояния. Тем самым ТК определяет критическую плотность тока  $j_c(T, B) \equiv j|_{T=T_r}$ , соответствующую началу диссипации, что при больших  $j_c$  индуцируется по минимальной напряженности электрического поля  $E_{min}$ . Зависимость  $j_c(T, B)$  в области малых  $j_c$ , где  $E$  — критерий неприменим (там  $j \sim E$ ), остается неисследованной.

Ниже с использованием  $\rho$ -критерия (по удельному сопротивлению) определена зависимость  $j_c(T, B)$  в полном диапазоне параметров, описаны области различных режимов. На основе физического описания ТК получены диссипативные и вольтамперные характеристики (ВАХ) композитных ВТСП без традиционного привлечения феноменологических подходов.

2. Для тонкого ВТСП во внешнем поле  $\vec{B} \perp \vec{j}$ , много большем собственного поля тока, индукция и плотность вихревых нитей