

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ДВУОКИСИ ВАНАДИЯ

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

Фазовый переход (ФП) металл-полупроводник в пленках VO_2 сопровождается значительным изменением их оптических свойств [1], что обуславливает перспективность их использования в оптоэлектронных приборах. Возможность индуцирования ФП оптическим излучением [2] позволяет использовать его для модуляции излучения другой длины волны. Быстродействие устройств на основе пленок VO_2 пропорционально площади пленки [3] и применение волоконных световодов с пленкой на торце открывает перспективы улучшения энергетических и динамических характеристик оптоэлектронных устройств.

Целью настоящей работы является исследование ФП в пленках VO_2 , нанесенных на торец кварцевого световода при их разогреве излучением полупроводникового лазера ($\lambda = 0.85$ мкм), и возможности использования таких пленок в волоконно-оптических устройствах.

Мощность оптического излучения, необходимая для перевода пленки в металлическое состояние, зависит главным образом от мощности теплоотвода и ее поглощательной способности. Как показано в [4], мощность, которую необходимо подводить к торцу полубесконечного стержня (аналог световода), чтобы поддерживать его торец при температуре T_n , превышающей температуру окружающей среды T_c , определяется выражением

$$W_0 = \frac{\pi}{2} (T_n - T_c) \cdot d \cdot \sqrt{\alpha \cdot \kappa \cdot d}, \quad (1)$$

где d — диаметр световода, κ — коэффициент теплопроводности материала световода, α — коэффициент теплопередачи, характеризующий теплообмен световода с окружающей средой. Эмпирическая зависимость $\alpha(d)$ приведена в [5]. Для стандартных многомодовых волокон (при условии, что наружный диаметр d волокна уменьшен до 60–70 мкм) мощность, поглощенная пленкой и достаточная для индуцирования ФП, в соответствии с формулой (1) составляет ~ 1 мВт ($T_c = 20$ °С). Учет теплоотвода от пленки непосредственно в воздух с торца волокна увеличит полученное значение на 10–20 %.

Пленки VO_2 выращивались методом пиролиза ацетилацетоната ванадила [6] на сколотом конце многомодового волоконного свето-

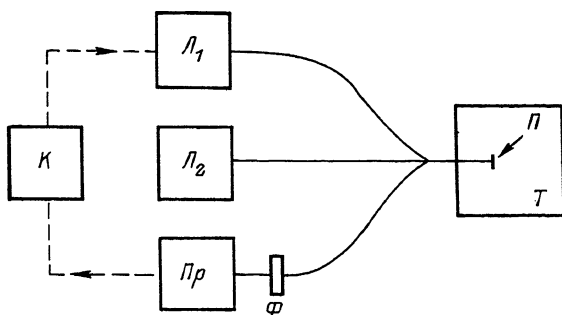


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: L_1 - полупроводниковый лазер ИЛПН-108 ($\lambda=0.85$ мкм), L_2 - полупроводниковый лазер ИЛПН-206 ($\lambda=1.3$ мкм), Пр - германиевый фотоприемник, К - двухпороговый компаратор, Т - термостат, Ф - фильтр, П - пленка VO_2 на торце волокна.

вода с диаметром светонесущей жилы 50 мкм, наружный диаметр которого травлением уменьшался до 60-70 мкм. Толщина пленок составляла $\sim 0.3-0.5$ мкм. Экспериментально измеренные значения коэффициентов отражения от пленки (при освещении со стороны волокна) в полупроводниковой и металлической фазах (R_n и R_m соответственно) на длинах волн 0.85 и 1.3 мкм составили $R_n(0.85) \approx R_m(0.85) \approx 15\%$, $R_n(1.3) \approx 20\%$, $R_m(1.3) \approx 45\%$. Фазовый переход в пленках происходил при $T_n \approx 65-70^\circ\text{C}$, ширина петли гистерезиса $\sim 5^\circ\text{C}$. Пропускание излучения такими пленками было мало и поглощенная в них мощность $W_n = (1-R)W_u$, где W_u - мощность излучения в волокне. Как следует из приведенных выше оценок, для индуцирования ФП в пленке VO_2 необходимо, чтобы мощность излучения в волокне составляла около 1.5 мВт.

Блок-схема экспериментальной установки для исследования оптического переключения пленками VO_2 представлена на рис. 1. В изготовленном волоконном разветвителе 3x1 потери не превышали 1 дБ и на его выходе, подсоединенном к отрезку волокна с пленкой, мощность излучения $W_u(0.85)$ могла устанавливаться в пределах 1.5-6 мВт. В качестве фотоприемника был применен германиевый фотодиод; для исключения его перегрузки мощным отраженным сигналом ($\lambda=0.85$ мкм) на его входе устанавливался фильтр, ослаблявший интенсивность этого сигнала на ~ 40 дБ. Регистрируемый сигнал ($\lambda=1.3$ мкм) ослаблялся при этом не более чем в 2 раза.

Измерения в стационарных условиях мощности, необходимой для индуцирования ФП для двух измеренных образцов дали значения $W_u \approx 2$ мВт ($T_c=20^\circ\text{C}$), что согласуется с ожидаемой величиной.

Дополнение экспериментальной установки (рис. 1) двухпороговым компаратором (показано пунктиром) превращает ее в генератор релаксационных колебаний, частота которого определяется временами разогрева τ_n и остывания τ_o пленки, соответствующих

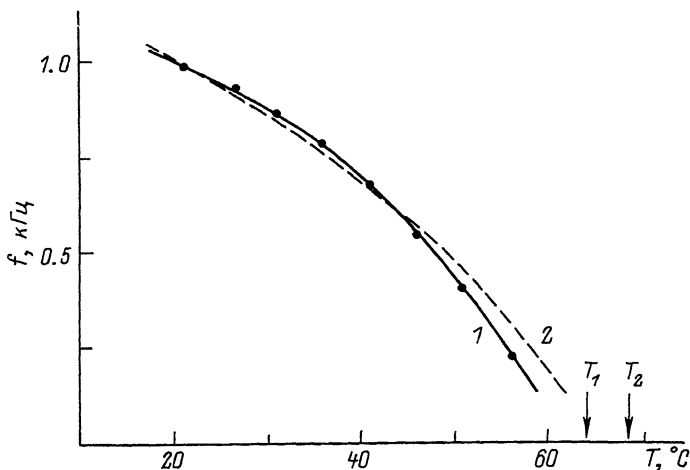


Рис. 2. Зависимость частоты от температуры окружающей среды. 1 - экспериментальная зависимость $f_{\text{экс}}(T_c)$, 2 - расчетная зависимость $f_{\text{рас}}(T_c)$.

выбранным коэффициентам отражения ($\lambda=1.3$) R_1 и R_2 ($R_n < R_1 < R_2 < R_n$). Сигнал с выхода компаратора включает "греющий" источник ($\lambda=0.85$ мкм), если сигнал с выхода фотоприемника меньше величины $U_1 = k \cdot R_1$ (k - коэффициент пропорциональности), и выключает его при возрастании U до величины $U_2 = k \cdot R_2$.

Времена τ_n и τ_o можно оценить из соотношения:

$$(W_n - W_o) \cdot \tau_n = c(T_2 - T_1) + \frac{R_2 - R_1}{R_n - R_n} \cdot Q = A = W_o \tau_o, \quad (2)$$

где T_1 и T_2 - температуры, соответствующие коэффициентам отражения R_1 и R_2 на прямой и обратной ветвях петли гистерезиса, c - теплоемкость пленки, Q - скрытая теплота ФП. В формуле (2) пренебрегается влиянием на теплоотвод температурных волн, возникающих в волокне из-за гистерезиса и конечности ширины ФП.

Из (2) определяется частота колебаний:

$$f = \frac{1}{\tau_n + \tau_o} = f_{\infty} \cdot \left(1 - \frac{W_o}{W_n}\right), \quad (3)$$

где $f_{\infty} = W_o/A$ - частота, соответствующая $W_n \rightarrow \infty$, когда она определяется только временем остывания τ_o . Легко видеть, что f_{∞} является линейной функцией от T_c . Экспериментально снятая зависимость $f_{\text{экс}}(T_c)$ приведена на рис. 2 сплошной кривой (соответ-

ствуем $W_{\text{к}}=6$ мВт). Там же (пунктирная кривая) приведена расчетная зависимость $f_{\text{рас}}(T_{\text{с}})$, полученная по формуле (3) для $W_{\text{к}}=6$ мВт. Поскольку из-за неопределенности в толщине пленки величина A' точно не известна, она определялась из экспериментальной зависимости $f_{\text{экс}}(T_{\text{с}})$ и с ее учетом на рис. 2 построена расчетная кривая по формуле (3). Расчетные и экспериментальные зависимости $f(T_{\text{с}})$ находятся в удовлетворительном согласии, что подтверждает справедливость формулы (3), определяющей закон изменения частоты от температуры. Различие, имеющее место при $T_{\text{с}}$ вблизи $T_{\text{н}}$, может объясняться как наличием температурных волн вдоль световода, влияние которых на теплоотвод от пленки при приближении $T_{\text{с}}$ к $T_{\text{н}}$ усиливается, так и из-за дополнительного разогрева пленки автомодулированным излучением $\lambda=1.3$ мкм. Нестабильность частоты колебаний не превышала 1 %.

Предложенная схема может работать как волоконно-оптический измеритель температуры, отличающийся высокой локальностью измерений и хорошим быстродействием. Следует подчеркнуть, что в отличие от известных устройств [7-9], в данной схеме, как это видно из принципа работы, точность измерения температуры не зависит от ширины петли гистерезиса. В связи с тем что частота колебаний зависит от условий теплообмена пленки с окружающей средой, на который, в частности, влияют давление, химический состав, скорость потока, предложенное устройство может быть использовано для измерения указанных параметров.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. Л.: Наука, 1979.
- [2] Мокеров В.Г., Петрова А.Г., Закотеева И.М. В кн.: Фазовые переходы металл-диэлектрик. Москва - Львов. 1977. С. 45-47.
- [3] Van Stensel K., Van de Burg and C. Koo y // Philips Res. Reports. 1967. V. 22. P. 170-177.
- [4] Теплотехнический справочник в 2-х томах / Под общей редакцией В.И. Юренева и П.Д. Лебедева. М.: Энергия, 1976. Т. 2. с. 145.
- [5] Ша к А. Промышленная теплопередача. Металлургиздат. 1961. с. 133.
- [6] С е р б и н о в И.А. Получение, свойства и применение пленок 3-оксидов. Автореферат дисс. М., 1977.
- [7] Н о в и к о в В.Н., Т а л л е р ч и к Б.А. // ПТЭ. 1969. № 5. С. 190.
- [8] С т р е г е н ь В.Н., Ш е л я г А.Р., Л ю т ы х О.А. // Электронная техника. 1972, сер. 8. с. 100.

[9] Андреев В.Н., Мешковский И.К., Теруков Е.И., Чудновский Ф.А. // ПТЭ, 1975, № 6. С. 252.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР,
Фрязино

Поступило в Редакцию
15 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 12
05.3; 06.2

26 июня 1989 г.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ КАРБИДА КРЕМНИЯ НА КРЕМНИИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 1050–1250 °С

И.М. Баранов, Н.А. Белов,
В.А. Дмитриев, Н.Г. Иванова,
Т.С. Кондратьева, И.П. Никитина,
В.Е. Челноков, В.Ф. Шаталов,
Р.Н. Эрлих

Выращивание монокристаллического карбида кремния на подложках кремния, во-первых, решит проблему подложечного материала для SiC -электроники [1] и, во-вторых, даст возможность сформировать приборы на основе гетероперехода $Si-SiC$ [2].

Технологические трудности выращивания SiC на Si -подложке определяются тем, что рассогласование параметров решеток этих материалов составляет 20%. Это значение много больше, чем, например, для пар $GaAs-Si$ (4%) и $GaP-Si$ (0.4%).

Обычно для выращивания на Si -подложке эпитаксиальных слоев карбида кремния толщиной 1 мкм и более используют процессы кристаллизации при температурах 1300–1360 °С [1, 3–5].

В настоящем письме сообщается, что монокристаллические слои кубического карбида кремния толщиной 1–1.5 мкм могут быть выращены на подложках кремния при более низких температурах: 1050–1250 °С.

Выращивание слоев карбида кремния проводили из газовой фазы на промышленной установке УНЭС-2ПК-А, предназначенной для газотранспортной эпитаксии кремния. В качестве подложек использовали стандартные пластины марки КДБ-10 с ориентацией (100) диаметром 76 мм [6].

Перед эпитаксией Si -подложки кипятили в травителе $H_2O_2-NH_4OH-H_2O$ (1:1:5), промывали в деионизованной воде, сушили в центрифуге. После этого подложки помещали в реактор, нагревали до 1200 °С и выдерживали 10 минут в потоке водорода. Затем подложки травили в течение 3 минут, вводя в реактор поток хлористого водорода.