

- [3] Бармасов А.В., Резников В.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 1. С. 41.
- [4] Недзвецкая И.В. Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. Л.: ЛГУ, 1974.
- [5] Физика суперионных проводников /Под ред. М.В. Саламона, Рига: Зинатне, 1982. С. 75-80.

Ленинградский  
механический  
институт

Поступило в Редакцию  
26 июня 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 22

26 ноября 1990 г.

07; 12

© 1990

СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ТРАНСПАРАНТОВ  
НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ФТИРОС  
А.С. Олейник, И.А. Хахаев

Широкое внедрение оптических запоминающих устройств сдерживается несовершенством реверсивных регистрирующих сред. В настоящее время появились новые технологические возможности по изготовлению окисных пленок ванадия на алюминиевом подслое (ФТИРОС) [1], которые являются перспективным материалом для записи и хранения оптической информации в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Данный материал обеспечивает длительное хранение информации, а также возможность многократной перезаписи без ухудшения параметров записанного изображения, что является преимуществом по сравнению с другими фотохромными, термопластическими, магнитооптическими и сегнетокерамическими материалами [2].

Оптическое излучение индуцирует в пленках ФТИРОС фазовый переход полупроводник-металл, сопровождающийся температурным гистерезисом отражения, что позволяет записывать и хранить оптическую информацию.

Особый интерес для практического использования представляют пленочные структуры  $Al-VO_2$  с высокой дифракционной эффективностью в ближней ИК-области спектра. Применяемый в настоящее время способ изготовления таких структур [3] обеспечивает эффективность в ближней ИК-области спектра не более 0,5-0,6%. Целью данной работы являлось исследование путей улучшения оптических параметров структуры  $Al-VO_2$  и методов их измерения.

Способ изготовления пленок ФТИРОС является двухстадийным. На первой стадии осуществляется термовакuumное напыление (при давлении (2,6-3,9)  $10^{-3}$  Па) алюминия и ванадия на диэлектриче-

скую подложку при комнатной температуре. Материал подложки должен обладать термостойкостью и достаточной механической прочностью, поверхность подложки должна быть оптически гладкой. Указанным требованиям удовлетворяют керамические подложки ПОЛИКОР, размером 48x60x0.5 мм, с шероховатостью поверхности, соответствующей 14 классу.

Скорость напыления алюминия и ванадия составляла соответственно 0.1 и 0.06 мкм/мин, толщина слоев контролировалась в процессе напыления. На второй стадии процесса изготовления происходило окисление структуры на воздухе при  $753 \pm 10$  К до формирования окисного слоя [4]. В указанном способе изготовления по данным рентгенографии, вторично-ионной масс-спектрометрии и электронографии с послойным травлением полученная окисная пленка представляет собой многофазную систему  $V_2O_5 - VO_2 - V_3O_5 - V_2O_3 - VO - V$ . Слой фазы  $V_2O_5$  толщиной порядка 70 Å находится на поверхности. Основу пленки составляет фаза  $VO_2$ . Остальные фазы располагаются послойно по толщине пленки, при этом содержание кислорода уменьшается от высшего окисла на поверхности через промежуточные окислы до чистого ванадия на границе с отражающим алюминиевым подслоем [5].

Слой фазы  $VO_2$  также стехиометрически неоднороден по толщине [6], причем от степени его неоднородности зависит ширина петли гистерезиса отражательной способности. По описанному способу изготовления практически невозможно получать стехиометрически однородные слои на основе  $VO_2$ . Это является недостатком при изготовлении переключающих элементов с большим скачком электропроводности (более двух порядков), но создает дополнительные возможности управления характеристиками голографических транспарантов. В данной работе путем варьирования исходной толщины слоя ванадия и времени окисления формировался окисный слой с минимальным отражением в полупроводниковой фазе и с максимальным отражением в металлической фазе на заданной длине волны.

Исследования морфологии поверхности указанных пленок на электронном микроскопе [7] показали, что окисный слой имеет поликристаллическую структуру с равномерно распределенными кристаллитами, размером  $\approx 1000$  Å, при толщине окисного слоя ванадия в диапазоне 1200–1400 Å. Имеет место корреляция между размерами кристаллитов и толщиной окисной пленки. Таким образом, особенности описанной пленочной структуры определяются составом и морфологией поверхности окисного слоя.

Следует заметить, что структура  $Al - VO_2$  достаточно устойчива лишь в лабораторной практике, а при использовании в полевых условиях ее необходимо защищать от воздействия окружающей среды. Для этой цели используются бутилметакриловые лаки, например АК-113Ф. Наносятся такие защитные покрытия методом центрифуги.

Толщина алюминиевого подслоя не превышает 1000 Å. При такой толщине подслоя достаточно однороден, а увеличение толщины только увеличивает теплоемкость всей структуры.

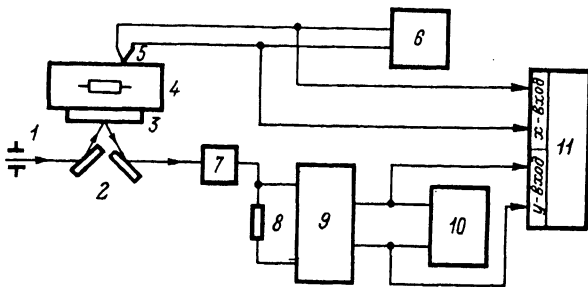


Рис. 1. Схема измерения температурного гистерезиса коэффициента отражения пленок ФТИРОС.

На рис. 1 представлена схема измерения гистерезиса отражательной способности пленочной структуры в видимой и ближней ИК-области спектра.

За выходной щелью 1 монохроматора (СФ-16) помещалась приставка зеркального отражения 2, с помощью которой пленка ФТИРОС 3, размещенная на термостатируемом нагревателе 4, облучалась световым потоком на требуемой длине волны. Отраженный от пленки 3 и от приставки 2 световой поток попадал на фотоэлемент 7 (Ф-5), сигнал с нагрузки 8 фотоэлемента 7 усиливался электрометрическим усилителем 9 (У5-9), регистрировался электронным вольтметром 10 (В7-27) и подавался на у-вход двухкоординатного самописца 11 (ЛКД4-003). Температура нагревателя 4 контролировалась термопарой (медь-константан) и электронным вольтметром 6 (Ш68003), сигнал с термопары 5 подавался на х-вход самописца 11. Величина коэффициента отражения пленки ФТИРОС измерялась относительно эталона (алюминиевое зеркало), для чего на выходе электронного вольтметра 10 снималось в относительных единицах отражение зеркала, а затем на его место помещалась пленка ФТИРОС 3, включался термостатируемый нагреватель 4 (скорость нагрева 10 К/мин) и самописец 11.

На рис. 2 показаны петли температурного гистерезиса отражательной способности структуры  $Al$  - окисный слой - АК-113Ф с толщинами слоев соответственно 1000-1400-3000 Å для длин волн 0,63 и 1,06 мкм.

Объективным критерием, характеризующим качество регистрирующей голографической среды является дифракционная эффективность  $\eta$  решетки, записанной на ней. Под  $\eta$  понимается отношение интенсивности дифракционного максимума первого порядка к интенсивности падающего на решетку излучения. Чтобы обеспечить максимальную вероятную  $\eta$  в термочувствительном материале при записи голограмм световым импульсом, режим нагрева материала должен быть адиабатическим [8].

Это требование для пленок ФТИРОС толщиной не более 0,2 мкм, согласно данным работы [5], выполняется при длительностях импульса записи  $\tau \leq 4 \cdot 10^{-8}$  с и пороговой экспозиции  $H_{пор} = 0,3 \cdot \tau^{0,42}$

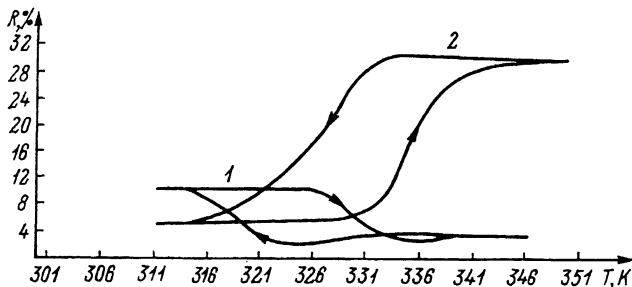


Рис. 2. Температурный гистерезис коэффициента отражения пленочной структуры  $AL - VQ_2 - AK - 113F$  на длинах волн 0.63 (1) и 1.06 мкм (2).

на длинах волн 0.3–1.06 мкм. При этом максимум дифракционной эффективности будет сохраняться вплоть до собственной разрешающей способности пленок ФТИРОС, которая, согласно данным [9] составляет не менее  $1000 \text{ мм}^{-1}$ .

Для оценки регистрирующих сред используется известная схема, обеспечивающая запись голограмм при интерференции в плоскости среды двух когерентных плоских волн, сходящихся под определенным углом, и последующее измерение дифракционной эффективности записанной решетки [8]. Однако в данной работе была использована более простая в реализации репродукционная схема, уже использовавшаяся для измерений дифракционной эффективности пленок ФТИРОС [10] (рис. 3).

На плоскости пленки ФТИРОС 2, сопряженной с нагревателем 1, проецировали изображение миры 4 (набор одномерных решеток различной ориентации с средним периодом  $20 \text{ мм}^{-1}$ ) с помощью составного проекционного объектива (линзы 3 и 5) и лазера 23 (ЛГН-208Б). Температура термостатирования нагревателя 1 соответствовала середине петли коэффициента отражения пленки ФТИРОС. Изображение миры 4 на поверхности пленки 2 записывалось с помощью импульсного лазера с пассивной модуляцией добротности (6, 11 – зеркала резонатора, 7 – излучатель ИЗ-25, 8 – светоделительный кубик, 10 – пассивный затвор  $Lif$ ). Режим записи обеспечивал адиабатическую засветку с плотностью энергии  $5 \times 10^{-4} \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$  при длительности импульса 40 нс на длине волны 1.08 мкм. Считывание записанных решеток миры 4 с пленки ФТИРОС 2 производилось лучом лазера 22 (ЛГ-126) на длинах волн 0.63 и 1.15 мкм. Диаметр считывающего луча лазера 22 регулировался длиннофокусной линзой 20 ( $F=1 \text{ м}$ ), диафрагмой 19  $\varnothing 2 \text{ мм}$ , а интенсивность светофильтром 21 (НС-8). Зеркалом 12 изображения решеток миры 4 проецировалось в плоскости экрана 14, при этом производился выбор изображения решетки с наилучшей дифракцией по интенсивности и количеству дифракционных максимумов. Экран 14 убирался и с помощью фотоприемника 17 (ФЭУ-62), электронного вольтметра (Щ68003) производилось

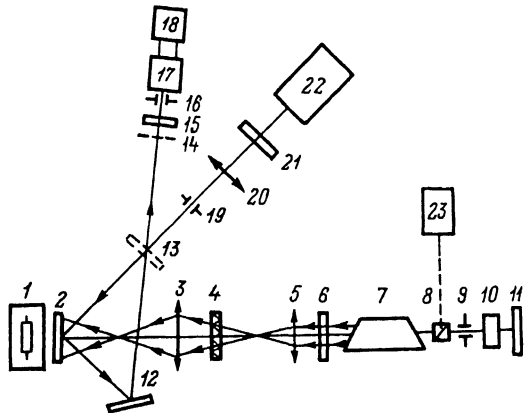


Рис. 3. Схема измерения дифракционной эффективности пленок ФТИРОС.

измерение интенсивности первого порядка дифракции в относительных единицах -  $I_1$  на длинах волн 0.63 и 1.15 мкм. Для исключения фоновой засветки перед фотоприемником 17 помещался светофильтр 15 (ИКС-3), совмещенный с ирисовой диафрагмой 16. Излучение лазера 22 зеркалом 13 направлялось на вход фотоприемника 17 и вольтметром 18 производилось измерение интенсивности считывающего луча в тех же относительных единицах -  $I_2$  на длинах волн 0.63 и 1.15 мкм.

Дифракционная эффективность вычислялась по формуле:

$\eta = (I_1 / I_0) \cdot 100\%$ , где  $I_1$  и  $I_0$  - значения интенсивностей соответственно первого дифракционного максимума и считывающего луча в относительных единицах.

Величина дифракционной эффективности структуры  $Al$  - окисный слой - АК-113Ф с толщиной окисного слоя 1400 Å на длинах волн 0.63 и 1.15 мкм соответственно составила 1.1 и 1.6%. Нужно отметить, что, хотя рабочей длиной волны является 1.06 мкм, измерения  $\eta$  на длине волны He-Ne лазера 1.15 мкм являются более удобными. Величины же дифракционной эффективности на 1.06 и 1.15 мкм отличаются незначительно вследствие слабой дисперсии оптических констант двуокиси ванадия в этом спектральном интервале [11]. Указанные значения дифракционной эффективности пленочной структуры  $Al$  - окисный слой - АК-113Ф не являются рекордными, это, скорее, среднее значение серийной технологии. Существует определенный резерв по повышению дифракционной эффективности путем разработки специальных просветляющих покрытий для рабочих длин волн вместо используемых в настоящее время защитных лаковых покрытий.

- [1] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Теруков Е.И., Чудновский Ф.А. В сб.: Пространственные модуляторы света, Л.: Наука, 1977. С. 94-102.
- [2] Апрель Ж., Арсено А., Баласубрамания Н. Оптическая голография / Под ред. Г. Колфилда. Пер. с англ. М., 1982. Т. 2. 736 с.
- [3] Захарченя Б.П., Межковский Ф.А., Теруков Е.И., Чудновский Ф.А. // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. В. 1. С. 8-11.
- [4] Олейник А.С., Смоляков В.Ф., Степанов В.М., Руденко Н.М. // Электронная промышленность. 1982. В. 5-6. С. 111-113.
- [5] Олейник А.С. Исследование термохромных свойств окиснованадиевых пленок и создание на их основе устройств отображения информации. Автореф. канд. дисс. Л.: ФТИ АН СССР, 1988.
- [6] Андреев В.Н., Олейник А.С., Суров Ю.И. и др. // ФТТ. 1980. Т. 22. В. 2. С. 3695-3697.
- [7] Олейник А.С. // Электронная техника. Сер. Электровакуумные и газоразрядные приборы. 1983. В. 1. С. 42-46.
- [8] Тонкие магнитные пленки для регистрации оптической информации. Тр. ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений. М., 1979.
- [9] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. Л.: Наука, 1979. 183 с.
- [10] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. // Квантовая электроника. 1979. Т. 6. В. 7. С. 1459-1463.
- [11] Varkar A. S., Bergland C. N., Verleur H. V. // Phys. Rev. 1968. V. 172. N 3. P. 788.

Поступило в Редакцию  
17 марта 1990 г.