

К. ф.-м. н. Н. И. ПОПОВИЧ,
д. ф.-м. н. Н. И. ДОВГОШЕЙ, к. ф.-м. н. И. Э. КАЧЕР

Украина, Ужгородский нац. университет
E-mail: pmm@univ.uzhgorod.ua

Дата поступления в редакцию
30.01 2001 г.
Оппонент д. ф.-м. н. П. П. ПУГА

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛЕНОК ШИРОКОЗОННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА $ZnGa_2S_4$ ДЛЯ ПРОСВЕТЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Тиогаллат цинка может применяться в качестве просветляющих и защитных покрытий оптических элементов, работающих в спектре от 0,2 до 25 мкм.

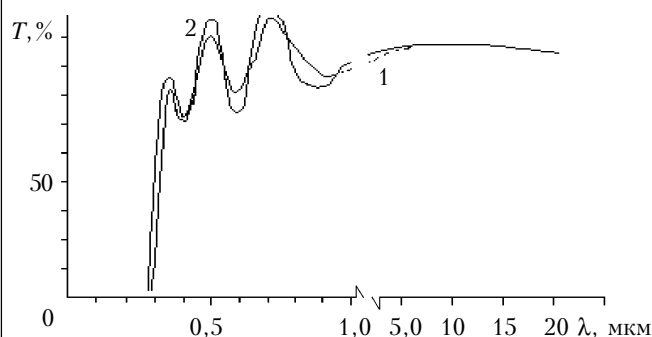
Одной из основных задач современного оптического приборостроения является повышение коэффициента полезного действия каждого активного элемента, применяемого в оптоэлектронных устройствах. Для промышленного производства эффективных просветляющих и защитных покрытий необходимы материалы с определенными свойствами и характеристиками, которые должны обладать такими свойствами, как высокое пропускание, хорошая адгезия и низкие механические напряжения, определенное значение показателя преломления, химическая стабильность, устойчивость к действию разрушающих факторов окружающей среды.

В литературе почти не описаны пленочные материалы, прозрачные в области ближнего ультрафиолета. Исследуемые нами тонкие пленки тиогаллата цинка отвечают перечисленным требованиям и поэтому могут быть предложены для использования в качестве просветляющих и защитных покрытий оптических элементов на основе кристаллов парателлурифта TeO_2 , ниобата лития $LiNbO_3$, а также сапфира Al_2O_3 .

Оптические характеристики тонких слоев $ZnGa_2S_4$

Тонкие пленки тиогаллата цинка $ZnGa_2S_4$ были получены методом импульсного лазерного напыления в режимах свободной генерации и гигантских импульсов. Спектры пропускания пленок тиогаллата цинка измерялись в области длин волн от 0,2 до 25 мкм. В результате проведенных исследований установлено [1, 2], что область прозрачности пленок $ZnGa_2S_4$ составляет 0,3–25 мкм (см. рисунок). Анализируя спектры пропускания, нужно отметить, что увеличение оптического пропускания определяется условиями получения данных тонких слоев. Так, в спектрах пропускания пленок, полученных импульсным лазерным напылением в режиме свободной генерации, наблюдается значительное увеличение оптического пропускания и контрастности интерференционной картины по сравнению с пленками, полученными импульсным лазерным напылением в режиме гигантских импульсов. Этот факт можно объяс-

нить наличием переходного слоя в структуре "пленка – подложка". Значение показателя преломления пленок $ZnGa_2S_4$ составляет $n=2,2$ на длине волны $\lambda=0,63$ мкм.



Спектры пропускания пленки тиогаллата цинка, полученной импульсным лазерным напылением в режиме гигантских импульсов (1) и свободной генерации (2).
T – коэффициент пропускания

Кроме того, установлено, что термическое напыление непригодно для получения оптических покрытий $ZnGa_2S_4$.

Известно [3, 4], что оптические свойства интерференционных покрытий полупроводниковых слоев, полученных испарением в вакууме термическими или электронно-лучевыми методами, со временем изменяются. Поэтому исследовалось влияние естественного старения, а также термической и лазерной обработки на оптические свойства тонких слоев тиогаллата цинка.

Тонкая пленка является неустойчивой системой и поэтому при температуре, отличной от нуля, стремится к более равновесному состоянию, т. е. количество дефектов в пленке должно уменьшаться. Экспериментально установлено [5, 6], что с увеличением температуры увеличивается скорость таких изменений. Этот факт положен в основу исследования процессов отжига тонких пленок с целью определения типа дефектов и реакций, которые приводят к возобновлению в пленках свойств твердого тела. Как естественное, так и стимулированное старение сводится к различным формам упорядочивания структуры материала.

Пленочные элементы $ZnGa_2S_4$ подвергались обработке при температурах 323, 373 и 473 К в вакуумной камере вакуумного поста ВУП-5М при давлении $1,3 \cdot 10^{-4}$ Па на протяжении 2 ч. В результате исследования оптических характеристик установлено, что для пленок, которые прошли термообработку,

спектры пропускания и значение показателя преломления не изменяются, т. е. исследуемые оптические слои являются устойчивыми к воздействию высоких температур до 473 К.

Также установлено, что в результате естественного старения тонких пленок титогаллата цинка на протяжении двух лет их оптические характеристики остаются неизменными.

Одним из требований к оптическим покрытиям элементов оптических систем является устойчивость материала покрытия к действию лазерного излучения, поскольку именно разрушение оптических материалов под действием собственного излучения лазеров ограничивает их мощность и является одной из причин, которые усложняют создание мощных лазерных систем. Тонкие пленки $ZnGa_2S_4$ не изменяют своих оптических характеристик после обработки лазерным излучением мощностью до 10^6 Вт/см², что дает возможность использовать их в лазерных оптических системах.

Результаты расчета просветляющих покрытий на основе слоев титогаллата цинка

Для производства оптических элементов микроэлектроники широко применяются кристаллы парателлурита, ниобата лития и сапфира. Коэффициент отражения этих кристаллов без просветления составляет $R=17-19\%$, коэффициент пропускания $T=80-82\%$. Согласно результатам проведенных расчетов, применение пленок титогаллата цинка в качестве однослойного оптического покрытия для таких оптических кристаллов дает возможность уменьшить коэффициент отражения до $10-11\%$ (табл. 1), но этого недостаточно для эффективной работы оптического элемента.

Таблица 1

Параметры кристаллов TeO_2 и $LiNbO_3$, просветленных тонким слоем $ZnGa_2S_4$, на длине волны $\lambda=0,4$ мкм

Просветляемый кристалл	Толщина покрытия, мкм	Коэффициент отражения без просветления, %	Коэффициент отражения просветленного кристалла, %
TeO_2	0,18	17	10
$LiNbO_3$	0,18	17	11

Чтобы максимально приблизить отражение от поверхности кристаллов к нулевому и расширить спектральную область их применения, необходимо использовать двухслойные просветляющие покрытия. Выбор материалов для создания такого просветляющего покрытия осуществлялся при помощи диаграммы Шустера. В качестве материала для внутреннего низкопреломляющего слоя применялся фторид кальция (CaF_2) с показателем преломления $n=1,437$ [7], который относится к классу материалов, широко используемых в оптоэлектронике благодаря своему низкому оптическому поглощению в широком диапазоне длин волн. Двухслойные просветляющие покрытия дают возможность уменьшить коэффициент отражения от поверхности просветляемых кристаллов до $1-6\%$. Но фторид кальция является гигроскопическим материалом, поглощение им водяного пара приводит к увеличению оптической поглощающей способности и к механическому разрушению элемента на его основе.

Таблица 2

Параметры двухслойных просветляющих покрытий для ряда оптических кристаллов

Оптический кристалл	Состав покрытия (внутр./внешн.)	λ , мкм	Толщина слоя, мкм (внутр./внешн.)	Коэффициент отражения структуры R, %
TeO_2	$CaF_2 / ZnGa_2S_4$	0,400	$\left(\frac{4 \times 0,042}{4 \times 0,010} \right)$	6,0
$LiNbO_3$		0,400	$\left(\frac{4 \times 0,040}{4 \times 0,011} \right)$	4,0
Al_2O_3		0,694	$\left(\frac{4 \times 0,078}{4 \times 0,022} \right)$	0,8

Таким образом, при использовании материалов типа CaF_2 в оптике важное значение имеет защита их поверхности от влаги, а также от других химических реагентов. Пленки титогаллата цинка ($ZnGa_2S_4$) не разрушаются под воздействием влаги, поэтому они могут применяться в качестве внешнего просветляющего и защитного покрытия одновременно. Параметры предлагаемых двухслойных просветляющих покрытий для оптических кристаллов парателлурита, ниобата лития и сапфира приведены в табл. 2.

Выводы

Тонкие пленки широкозонного полупроводника титогаллата цинка $ZnGa_2S_4$ характеризуются широкой областью прозрачности, высоким коэффициентом пропускания, устойчивостью к воздействию факторов окружающей среды и отвечают требованиям, предъявляемым к просветляющим покрытиям оптических элементов. Применение их в качестве просветляющих покрытий для кристаллов парателлурита, ниобата лития и сапфира позволяет уменьшить коэффициент отражения полученной структуры на $10-15\%$.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Довгошей Н. И., Качер И. Э., Попович Н. И. Тонкие пленки новых полупроводников $ZnGa_2S_4$ // Мат-лы VI Междунар. симпоз. «Тонкие пленки в электронике». — Херсон, 1995. — Т. 1. — С. 230–231.
2. Peculiarities of preparation and main optical properties of zinc tetratrigallates films / N. Popovich, I. Kacher, N. Dovgoshey, Yu. Tomashpolskij // Proceedings of SPIE. — 1998. — Vol. 3890. — P. 479–482.
3. Суетин В. М., Черепанова М. Н., Первеев А. Ф. Светофильтры с коротковолновой границей пропускания $0,4-10$ мкм // Оптико-механическая промышленность. — 1963. — № 6. — С. 15–20.
4. Фурман Ш. А. Тонкопленочные оптические покрытия. — Л.: Машиностроение, 1973.
5. Радауцан С. И., Житарь В. Ф., Райлян В. Я. Оптическое поглощение монокристаллов $CdIn_2S_4$ // Физика и техника полупроводников. — 1975. — Т. 9, вып. 12. — С. 2278–2283.
6. Мак В. Т., Ибрагим А. А. Исследование природы собственных дефектов в поликристаллических пленках $CdGa_2S_4$ // Известия АН России. Сер. Неорг. материалы. — 1995. — Т. 31. — С. 524–527.
7. Акустические кристаллы / Под ред. М. П. Шаскольской. — М.: Наука, 1982.