

Д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ, к. ф.-м. н. Б. Н. ГРИЦЮК,
к. ф.-м. н. В. Н. СТРЕБЕЖЕВ

Украина, г. Черновцы, Институт термоэлектричества;
Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича
E-mail: ashcheulovaa@rambler.ru

Дата поступления в редакцию
14.10.2008 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ «Ритм», г. Черновцы)

ИНФРАКРАСНЫЕ ОТРЕЗАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdSb, ZnSb ДЛЯ ОПТОФОТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Сконструированы интерференционно-абсорбционные отрезающие ИК-фильтры на монокристаллах CdSb и ZnSb для охлаждаемых оптофотоэлектронных устройств, исследованы их оптические и механические характеристики.

Интенсивное развитие науки и техники, использующей инфракрасное излучение, приводит к необходимости разработки новых ИК-светофильтров с улучшенными оптическими характеристиками и повышенной механической прочностью. Фильтры как элементы оптофотоэлектроники широко используются в спектральных приборах различного назначения — монохроматорах, спектрометрах, а также инфракрасной астрономии, системах сигнализации и другой спецтехнике. Монокристаллы CdSb и ZnSb (ширина запрещенной зоны $E_{gCdSb}=0,48$ эВ, $E_{gZnSb}=0,55$ эВ) кристаллизуются в ромбической сингонии и характеризуются прозрачностью в средней и дальней областях ИК-спектра (коэффициент пропускания достигает 42% без просветления), а также близкими значениями коэффициента преломления ($n=4,5—4,8$). К их достоинствам следует отнести эффективное подавление излучения с длиной волны $\lambda < 2,2$ мкм, в том числе солнечных помех.

В современной литературе мало сказано о тонкопленочных фильтрах, сформированных на основе полупроводников группы A^2B^5 , в связи с чем и была поставлена задача проектирования тонкопленочных интерференционно-абсорбционных фильтров на основе монокристаллов CdSb и ZnSb, исследования их характеристик, а также стабильности работы в условиях охлаждения.

Методика расчета и моделирования оптических фильтров

При конструировании интерференционных покрытий необходимо решать так называемую обратную задачу, или задачу синтеза, т. е. по заданным оптическим постоянным материалов и требуемой спектральной характеристике найти порядок чередования слоев и их толщину [1].

В настоящее время широко применяются упрощенные методы, например метод эквивалентных слоев, который и был взят нами за основу для расчетов конструкции интерференционных фильтров [1, 2]. Суть

метода заключается в том, что каждый симметричный многослойник считается эквивалентным одному слою с эффективным значением показателя преломления и оптической толщины.

Матрица мультислоя, состоящего из k однородных непоглощающих слоев, определяется по формуле [2, с. 46—57; 3, с. 47—50]:

$$M \equiv \begin{pmatrix} M_{11} & iM_{12} \\ iM_{21} & M_{22} \end{pmatrix} = \prod_{j=1}^k M_j,$$

при этом матрица j -го слоя имеет вид

$$M_j = \begin{pmatrix} \cos \delta_j & in_j^{-1} \sin \delta_j \\ in_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix},$$

где δ — фазовая толщина слоя, $\delta_j = 2\pi u_j \lambda^{-1}$;

u_j — оптическая толщина слоя, $u_j = n_j d_j$;

n_j, d_j — показатель преломления и геометрическая толщина слоя, соответственно;

i — мнимая единица.

Коэффициенты пропускания T и отражения R непоглощающего мультислоя определяются согласно выражению [3]

$$T = 1 - R = 4(2 + n_0 n_s^{-1} M_{11}^2 + n_0 n_s M_{12}^2 + n_0^{-1} n_s^{-1} M_{21}^2 + n_0^{-1} n_s M_{22}^2)^{-1},$$

где n_0 и n_s — показатели преломления окружающей среды и подложки, соответственно.

Ввиду близости оптических свойств и параметров монокристаллов CdSb и ZnSb [4] расчеты проводились по одинаковому алгоритму, а рассчитанные фильтрующие системы практически подходили для нанесения на оба материала [5]. При этом проектировались отрезающие фильтры с граничной длиной волны $\lambda_{гр}=2,5; 3,9; 4,2$ мкм, крутизной границы отрезания $K \geq 0,95$ и средним коэффициентом пропускания $T_{ср} \geq 80\%$. Коэффициент пропускания в области блокирования фона задавался $T_{ф} \leq 10^{-3}\%$. Использовалась комбинация нескольких пакетов элементарных подсистем с различной оптической толщиной слоев.

После разработки конструкции светофильтра применялось так называемое сглаживание максимумов пропускания $T(\lambda)$ с целью улучшения характеристик фильтра [1]. При этом был применен подход для случая, когда число слоев k , которые необходимо замкнуть, меньше числа точек изменения m . Тогда при-

рост оптической толщины Δu_j ($j=1, 2, \dots, k$) является решением системы линейных уравнений

$$\sum_{l=1}^k \sum_{p=1}^m \frac{\partial T(\lambda_p)}{\partial u_l} \frac{\partial T(\lambda_p)}{\partial u_j} \Delta u_l = \sum_{p=1}^m \Delta T(\lambda_p) \frac{\partial T(\lambda_p)}{\partial u_j},$$

где $\Delta T(\lambda_p)$ — прирост коэффициента пропускания.

С учетом соотношения

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial M_{11}}{\partial u_j} & i \frac{\partial M_{12}}{\partial u_j} \\ i \frac{\partial M_{21}}{\partial u_j} & \frac{\partial M_{22}}{\partial u_j} \end{pmatrix} =$$

$$= 2\pi\lambda_p \prod_{r=1}^{j-1} M_r \begin{pmatrix} -\sin \delta_j & i n_j^{-1} \cos \delta_j \\ i n_j \cos \delta_j & -\sin \delta_j \end{pmatrix} \prod_{r=j+1}^k M_r,$$

частная производная от T по толщине j -го слоя имеет вид

$$\frac{\partial T(\lambda_p)}{\partial u_j} = \frac{T^2(\lambda_p)}{2} \left(n_0 n_s^{-1} M_{11} \frac{\partial M_{11}}{\partial u_j} + n_0 n_s M_{12} \frac{\partial M_{12}}{\partial u_j} + \right.$$

$$\left. + n_0^{-1} n_s^{-1} M_{21} \frac{\partial M_{21}}{\partial u_j} + n_0^{-1} n_s M_{22} \frac{\partial M_{22}}{\partial u_j} \right).$$

Функция пропускания излучения, к которой со-
вещалось приближение, имеет вид

$$Y(\lambda) = \frac{1}{2} \left\{ \tanh \left[\ln \frac{9(\lambda - \lambda_{\text{тр}})(1 + K)}{2\lambda_{\text{тр}}(1 - K)} \right] + 1 \right\}.$$

Прирост коэффициента пропускания определялся согласно соотношению

$$\Delta T(\lambda) = [Y(\lambda) - T(\lambda)] / N.$$

Расчет интерференционных покрытий для монокристаллов CdSb и ZnSb, включающих пленки трех материалов — SiO, ZnS, Ge — проводился по изложенной выше методике с применением специальной программы, включающей циклы для расчета и умножения матриц непоглощающих слоев и позволяющей для заданной конструкции фильтра (количество слоев, их последовательность, показатели преломления, обрамляющие среды) вычислить спектральную зависимость коэффициента пропускания. Оптимизация пропускания проводилась путем вариации толщины крайних слоев ZnS [3]. Конструкцию разработанных специальных фильтров с $\lambda_{\text{тр}}=3,9$ мкм из двух материалов с низким и одного с высоким показателями преломления представим в следующем виде:

$$g_0 H_1 | S | g_0 H_1 0,5 B (H B)^{P_1} g_1 H g_2 B g_3 H g_4 B g_5 H g_6 B \times$$

$$\times (g_7 H g_7 B)^{P_2} g_7 H g_8 H_1, \quad (1)$$

где $g_0, \dots, g_8$ — коэффициенты отклонения толщины от четверть-волновой;

H_1 — пленки ZnS;

S — подложка из CdSb или ZnSb;

B — пленки Ge;

H — пленки SiO;

P_1, P_2 — показатели количества пар слоев в пакетах подсистем.

Такая конструкция интерференционной системы имеет преимущество перед разработанной ранее [6] на основе только двух пленкообразующих материалов Ge и SiO, поскольку включение в конструкцию слоев ZnS разной толщины дает возможность оптимизировать спектральную характеристику в области прозрачности фильтра с высоким значением максимального коэффициента пропускания.

Для устройств, функционирующих при комнатной температуре, были рассчитаны конструкции фильтров с $\lambda_{\text{тр}}$, равной 2,5 и 4,2 мкм, и небольшим количеством слоев (12—14). Их спектральные характеристики содержат сравнительно неширокую область блокирования фонового излучения (на рис. 1, кривые 1, 3, 4, 6 — характеристики 12-слойных фильтров; на рис. 2, кривые 1, 4 — 14-слойных).

Двенадцатислойный фильтр с $\lambda_{\text{тр}}=2,5$ мкм исходной конструкции был построен из пакета слоев Ge—SiO равной толщины ($u_j=475$ нм), расположенного между слоями ZnS, граничащими с оптическими средами (воздух, подложка CdSb или ZnSb). Эта конструкция также была включена как элементарная подсистема в конструкцию отрезающих фильтров с $\lambda_{\text{тр}}=3,9$ мкм из 25 и 24 слоев. Соответствующие спектральные характеристики пропускания представлены на рис. 1 (кривые 2, 5) и на рис. 2 (кривые 3, 5).

Как следует из этих рисунков, улучшение тех или иных особенностей спектральных кривых (крутизна, положение и величина максимума, среднее пропускание, ширина «высокоотражающих зеркал» в области блокирования фона и т. д.) было достигнуто путем модификации, главным образом, обрамляющих слоев на границе с оптическими средами. Например, изменив в конструкции фильтра толщину слоев ZnS и Ge на границе с CdSb до значений соответственно 250 и 450 нм, удалось достичь значения коэффициента пропускания $T \geq 90\%$ в широком спектральном интервале $\lambda=2,95$ —5,5 мкм (рис. 2, б, кривая 4).

Более сложные интерференционные фильтры специальной конструкции разрабатывались для устройств, работающих при азотных температурах [5]. Их особенностью является включение нескольких пакетов согласующих слоев разной толщины, что позволяет расширить область блокирования фонового излучения до 1,7 мкм и достичь в середине рабочего диапазона фильтра высокого пропускания (рис. 2, а, б, кривые 2, б).

Необходимость разработки фильтров, функционирующих при криогенных температурах, обусловлена тем, что большинство полупроводниковых фотоприемников требуют охлаждения. В то же время, с охлаждением увеличивается ширина запрещенной зоны кристаллов-подложек фильтров, что приводит к сдвигу границы пропускания в сторону коротких волн. Для сохранения заданной области блокирования излучения в области фона в конструкцию фильтров включались дополнительные подсистемы, расширяющие диапазон области «высокоотражающих зеркал».

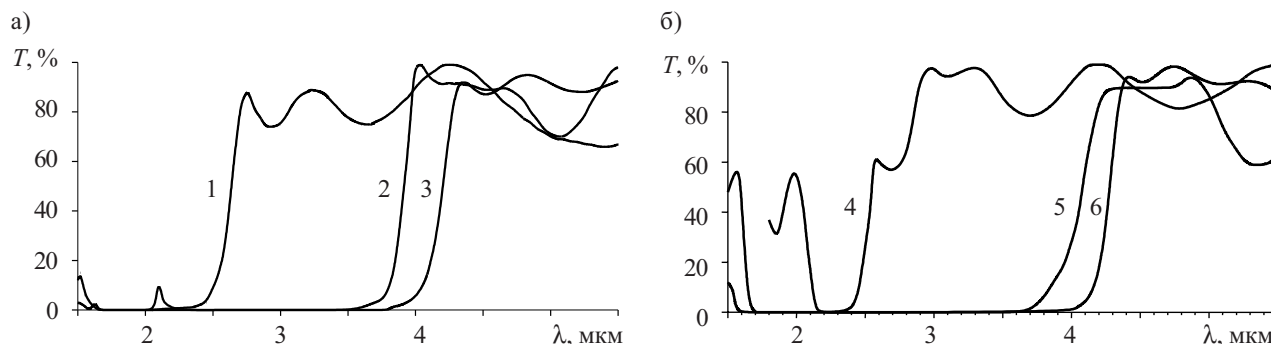


Рис. 1. Рассчитанные спектральные характеристики пропускания интерференционных фильтров из слоев ZnS, Ge, SiO на подложках из CdSb (а) и ZnSb (б)

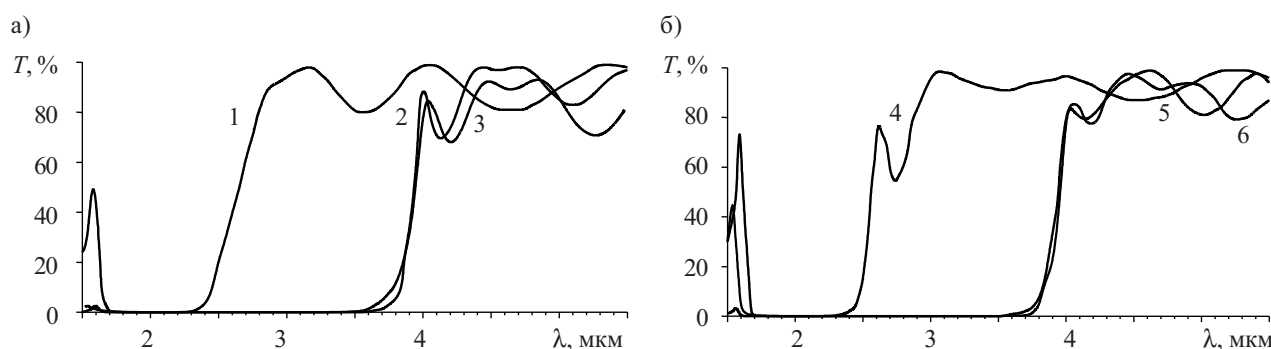


Рис. 2. Рассчитанные спектральные характеристики пропускания интерференционных моноканальных фильтров из слоев ZnS, Ge, SiO на подложках из CdSb или ZnSb (а) и двухканального фильтра на CdSb (б)

Конструкции оптимизированных специальных фильтров включают слой ZnS с оптической толщиной ≈ 1000 нм на границе с CdSb. Слои ZnS толщиной 800—1000 нм используются для просветления пластин CdSb в заданном рабочем диапазоне [4], поэтому сконструированные многослойные интерференционные системы хорошо согласуются с просветляющими пленками ZnS с обратной стороны подложки. Высокое пропускание фильтра ($T > 90\%$ в диапазоне $\lambda = 4,3\text{—}5,1$ мкм) достигалось благодаря включению пакетов слоев ZnS—SiO—Ge разной толщины между элементарными подсистемами и на границе с оптическими средами, как это видно из формулы (1) конструкции тонкопленочных систем.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Напыление рассчитанных тонкопленочных систем ZnS—SiO—Ge на подложки CdSb и ZnSb проводилось в высоком вакууме ($P = (1\text{—}2) \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.) на серийной установке ОИНЭ-7-008 с электроннолучевым испарителем и фотометрическим контролем толщины пленок. Подложки закреплялись на карусельном устройстве для достижения однородности пленок по толщине и подогревались галогенными лампами. Как известно, от предварительной подготовки подложек сильно зависит адгезия и прочность получаемого покрытия, поэтому для изготовления охлаждаемых фильтров была разработана специальная технология обработки и очистки поверхности подложек.

Монокристалл, выращенный в кристаллографическом направлении [100], разрезался на пластины заданных геометрических размеров, которые подвергались шлифовке. Завершающим этапом обработки

подложек была химико-механическая полировка, позволяющая максимально удалить нарушенный слой, оставшийся после резки и шлифовки [7]. Полировку проводили композициями коллоидного кремнезема, включающими аминоэтоксиды, NaOH, H_2O_2 , глицерин. Продукты, образующиеся при полировке, удаляются с поверхности благодаря высокой адсорбционной способности аминоэтоксидов вследствие комплексообразования. Этот метод является оптимальным для обработки подложек из CdSb и ZnSb. Его применение приводит к устранению характерных для механической полировки царапин и свойственных химической полировке волнистых неровностей рельефа.

Проведенные исследования показали, что оптимальной кристаллографической плоскостью для ориентации подложек CdSb и ZnSb является плоскость спайности (100). Такие подложки характеризуются высокой механической и термической прочностью и поэтому были использованы для изготовления фильтров.

Точность контроля толщины пленок очень важна для достижения соответствия реальных характеристик фильтров теоретическим. Для ее повышения производилась замена стекол-«свидетелей» после напыления на них 2—3 слоев рассчитанной толщины, определяемой по соответствующему числу зарегистрированных экстремумов интерференции. Были получены интерференционно-абсорбционные фильтры с граничной длиной волны 2,5; 3,9 и 4,2 мкм. Абсорбционные фильтры с $\lambda_{tr} = 2,5$ мкм изготавливались путем нанесения монослойной пленки просветляющего покрытия из ZnS с двух сторон пластины, однако

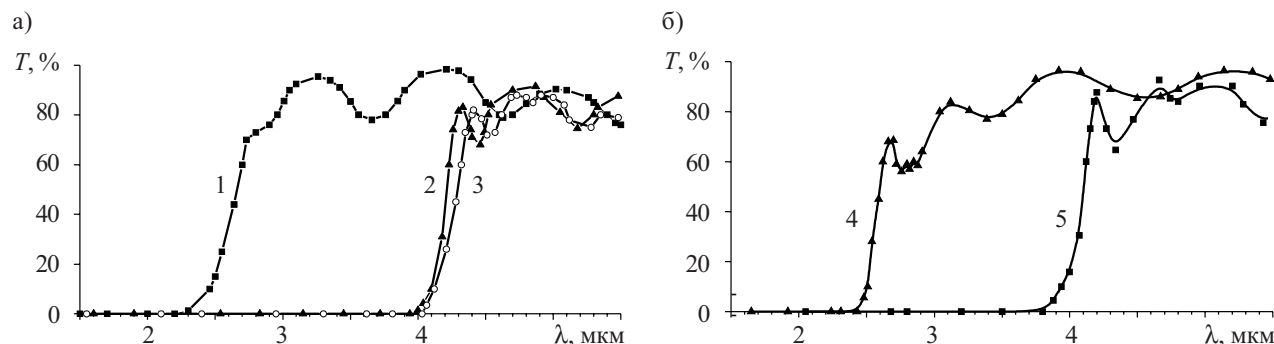


Рис. 3. Спектральные характеристики пропускания интерференционно-абсорбционных фильтров на CdSb, функционирующих при комнатной температуре (а) и при 77 К (б)

крутизна границы отрезания K у таких фильтров не более 0,8—0,85. Положение $\lambda_{\text{гр}}$ в таком абсорбционном фильтре определяется шириной запрещенной зоны CdSb, ZnSb, тогда как преимуществом интерференционно-абсорбционного фильтра является возможность регулирования положения и крутизны границы отрезания с помощью подбора соответствующих конструкций многослойных пленочных систем.

Необходимо отметить, что дефектами, влияющими на качество фильтров, являются включения другой фазы в подложках. Электронно-зондовым микроанализом было выявлено наличие значительного количества преципитатов Sb в кристаллах ZnSb, что связано с перитектическим характером образования этого соединения. Если для CdSb при выращивании методом Чохральского удается вырастить совершенные кристаллы, то в подложках ZnSb плотность включений остается высокой, что приводит к снижению пропускания и качества фильтров. Технология выращивания монокристаллов ZnSb нуждается в дальнейшем усовершенствовании, а при изготовлении ИК-фильтров для практических применений преимуществом обладают кристаллы CdSb. В связи с этим далее приведем экспериментальные результаты, полученные для фильтров на CdSb.

Для повышения крутизны характеристики фильтра с $\lambda_{\text{гр}}=2,5$ мкм было нанесено 14-слойное интерференционное покрытие с одной стороны подложки и просветляющее покрытие из ZnS толщиной 800 нм — с другой. Спектральные характеристики такого интерференционно-абсорбционного фильтра приведены на рис. 3, а (кривая 1), а фильтра с толщиной пленки ZnS 1150 нм — на рис. 3, б (кривая 4). Крутизна

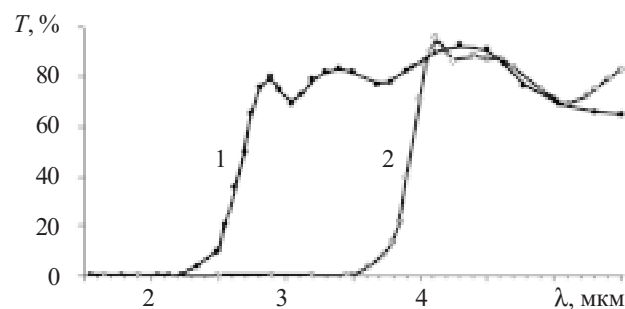


Рис. 4. Спектральные характеристики пропускания фильтров на CdSb с конструктивно зависимыми интерференционными покрытиями

границы отрезания таких фильтров достигает 0,94, среднее пропускание в интервале $\lambda=3,2—5,4$ мкм составляет $T_{\text{ср}}=80\%$, максимальное — $T_{\text{max}}=94\%$. Глубокое подавление излучения в фоновой области обеспечивается фундаментальным поглощением CdSb при $\lambda \leq 2,4$ мкм.

Спектральные характеристики пропускания фильтров с $\lambda_{\text{гр}}=4,2$ мкм приведены на рис. 3, а (кривые 2, 3), а с $\lambda_{\text{гр}}=3,9$ мкм — на рис. 3, б (кривая 5) и на рис. 4 (кривая 2). Эти фильтры характеризуются следующими параметрами: $K=0,95$, $T_{\text{ср}}=82\%$, $T_{\text{max}}=92\%$, расчетное подавление излучения в области фона составляет $10^5—10^6$ раз.

На рис. 5 (кривые 1, 2) представлены спектральные характеристики пропускания 24-слойного фильтра на основе CdSb при комнатной и криогенной температуре. Как следует из этого рисунка, при охлаждении оптические свойства фильтра меняются несущественно, отклонение значений $\lambda_{\text{гр}}$, K , $T_{\text{ср}}$ находится в пределах, допускаемых соответствующими стандартами (5—10%), что делает перспективным использование такого фильтра в охлаждаемых фотоприемных устройствах для оптоэлектроники [3, 5].

На основе разработанных интерференционных покрытий был изготовлен двухканальный фильтр-растр. Конструктивно многоканальный светофильтр является матрицей из независимых фильтров необходимых диапазонов, которая геометрически соответствует «многоцветной» матрице фотоприемников [3]. Напыление 14 слоев фильтра первого канала и 24 слоев второго совершалось поочередно.

Формулы конструкций интерференционных покрытий каналов имели следующий вид:

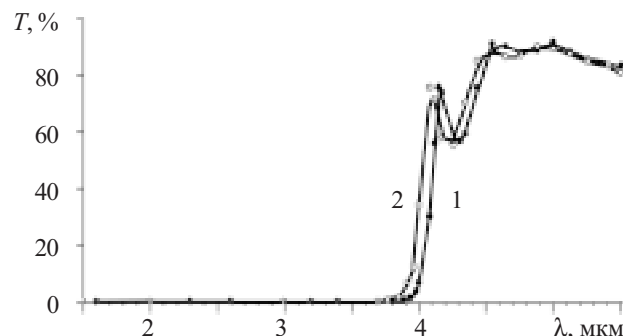


Рис. 5. Спектральные характеристики пропускания фильтра на CdSb при температуре 293 К (1) и при 83 К (2)

1-й канал ($\lambda_{\text{гр}}=2,5$ мкм) —
 $0,53H_1,0,95B_1,4H_0,57B_1,4H_0,57B_1,4H_0,57B_1,4H(BH)^2 \times$
 $\times 1,28H_1;$ (2)

2-й канал ($\lambda_{\text{гр}}=3,9$ мкм) —
 $2,1H_1,0,5B(HB)^3,0,84H_0,95B_1,05H_1,16B_1,37H_1,6B \times$
 $\times (1,5H_1,5B)^4,1,5H_1,28H_1.$ (3)

Числовые коэффициенты в этих формулах относятся к пакетам согласующих слоев различной толщины соответственно формуле (1).

Изготавливались также конструктивно зависимые ИК-светофильтры, в которых фильтр с $\lambda_{\text{гр}}=2,5$ мкм входит как подсистема в конструкцию фильтра с $\lambda_{\text{гр}}=3,9$ мкм. В этом случае на всю площадь подложки напылялся коротковолновый фильтр, затем часть площади закрывалась «маской» и на открытую поверхность допылялись следующие слои длинноволнового фильтра. Обратная сторона подложки, на которую с помощью металлизации наносились реперные знаки для совмещения с матрицей фотоприемников, просветлялась пленкой ZnS. Экспериментальные спектральные характеристики каналов двухканального фильтра приведены на рис. 3, б (кривые 4 и 5), а для конструктивно зависимых покрытий — на рис. 4 (кривые 1, 2).

Создание фильтров, используемых при низких температурах, требует разработки интерференционных систем с криостабильными спектральными характеристиками, повышенной прочностью пленочных покрытий и конструкции в целом, что учитывалось, начиная со стадии расчетов (формулы (2), (3)). Соответствующие интерференционные системы каналов сконструированы так, что обеспечивают расширение области высокоотражающих зеркал фильтра от $\lambda_{\text{гр}}$ до 1,7 мкм. В области более коротких волн побочные полосы пропускания интерференционных фильтров, которые имеются на теоретических кривых (рис. 1, 2), полностью поглощаются подложкой (рис. 3, 4). Такое сочетание интерференционного фильтра с абсорб-

ционным на основе подложек CdSb, ZnSb приводит к полному блокированию коротковолнового излучения в области $\lambda < \lambda_{\text{гр}}$, в том числе в интервале прозрачности, обусловленном охлаждением подложки (рис. 5).

В качестве диафрагмы, задающей геометрию световых зон каналов фильтра, применялось металлизированное пленочное покрытие заданной формы. В связи с этим актуальным является вопрос выбора материала металлизированного покрытия и технологии его нанесения, т. к. необходимо обеспечить непрозрачность участков подложки вне световых зон фильтра, а также высокую адгезию металлической пленки к подложке и к слоям интерференционного покрытия. Высокую совместимость с подложками как из CdSb, так и из ZnSb, а также с интерференционными пленками, проявили металлизированные покрытия из Al [7].

При разработке двухканального фильтра был отработан метод двусторонней металлизации подложек термическим напылением в вакууме через специальные маски, полученные фотолитографией. Особенностью таких масок является то, что за пределами диаметра подложки имеются сквозные реперные метки, совмещаемые при наложении масок с двух сторон подложки. Этим достигалось совмещение с высокой точностью рисунков металлизированных покрытий на обеих поверхностях подложки. Подложки перед напылением подвергались ионному травлению в атмосфере аргона в течение 10—12 минут. Толщина напыленных пленок Al составляла 0,8—1,0 мкм.

Морфология поверхности фильтра после химико-механической полировки подложек была значительно лучше, чем после механической (рис. 6). Технологические режимы изготовления фильтров корректировались так, чтобы уменьшить основные причины деградации пленочных покрытий — пористость пленок, адсорбцию влаги порами, внутренние напряжения, приводящие в дальнейшем к появлению локальных участков отслаивания пленок. Такие дефекты наблюдались в пленках, полученных при низких температурах подложки (рис. 7).

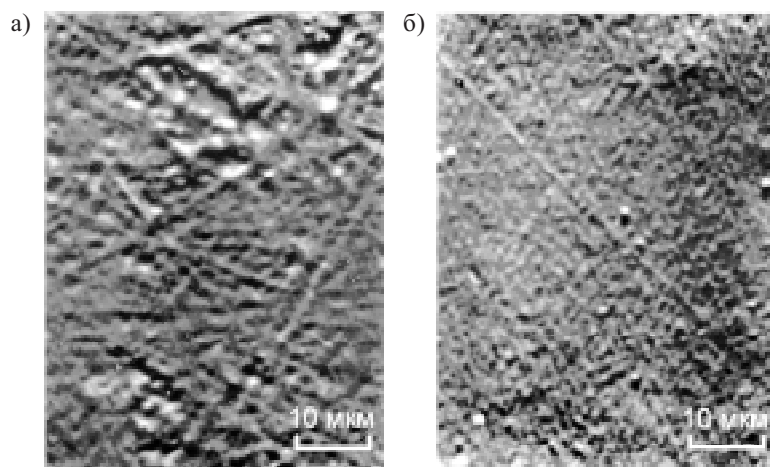


Рис. 6. Морфология поверхности пленок фильтра, полученных на подложках, обработанных механическим (а) и химико-механическим (б) способами

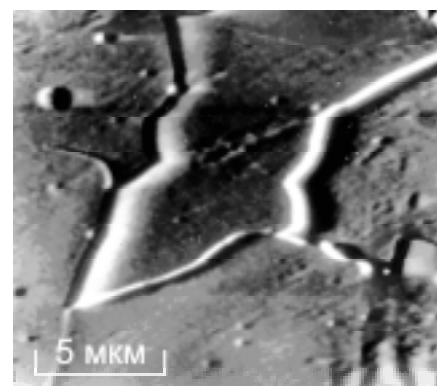


Рис. 7. Микроучастки локального отслаивания пленочного покрытия, полученного при температурах подложки 100—120°C, на основе ZnSb

Поскольку фильтрующие покрытия закрываются пленками ZnS, эти пленки играют влагозащитную роль. Содержание влаги в пленках ZnS составляет после термообработки 1—4% [3], что в несколько раз ниже, чем в пленках SiO₂ или MgF₂.

Проведение процесса напыления при температуре подложки 180—200°C обеспечивает как высокую адгезию пленочной системы, так и возможность дальнейшей термообработки слоев, вследствие чего уменьшается сорбция паров воды и значительно замедляется процесс старения (ухудшение характеристик) фильтра. Использование химико-механической полировки в совокупности с ионной очисткой подложек улучшает морфологию и прочность пленок.

Стойкость фильтров на CdSb к перепадам температуры проверялась их термоциклированием при температурах 77—373 К в режиме термоудара. После 1000 циклов на поверхности покрытий не наблюдалось участков деградации, спектральные характеристики изменялись незначительно, в пределах допустимых стандартами. На основе этих исследований можно сделать заключение о технологически достигнутой высокой прочности двухканального фильтра на CdSb.

Выводы

Моделирование конструкций пленочных фильтрующих покрытий для нанесения на полупроводниковые подложки CdSb и ZnSb показало возможность создания отрезающих фильтров с различными параметрами в зависимости от заданных технических условий. Из-за несовершенства технологии выращивания монокристаллов ZnSb пока еще не удается получить качественные фильтры на его основе. Созданные интерференционно-абсорбционные многослойные

тонкопленочные фильтры на монокристаллах CdSb обладают высокими оптическими и эксплуатационными характеристиками. Спектральные характеристики коэффициента пропускания изготовленных фильтров соответствуют расчетным кривым и незначительно изменяются при охлаждении фильтров до азотных температур. Оптимальный подбор пленкообразующих материалов интерференционных систем и металлизующей диафрагмы, а также технологических режимов, позволил создать двухканальные ИК-фильтры с высокой стабильностью как механических, так и оптических свойств, предназначенные для применения в различных оптоэлектронных устройствах.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кард П. Г. Анализ и синтез многослойных интерференционных пленок.— Таллин: Валгус, 1971.
2. Телен А. Конструирование многослойных интерференционных светофильтров // В кн.: Физика тонких пленок.— Т. 5.— М.: Мир, 1972.
3. Беляева А. И., Сиренко В. А. Криогенные многослойные покрытия.— К.: Наук. думка, 1991.
4. Лазарев В. Б., Шевченко В. Я., Гринберг Я. Х., Соболев В. В. Полупроводниковые соединения группы A^{III}B^V.— М.: Наука, 1978.
5. Ащеулов А. А., Грицюк Б. Н., Стребежев В. Н. Инфракрасные оптические элементы на основе материалов CdSb, ZnSb / Тези доп. наук.-практич. конф. «СЕНСОР-2008».— Одесса.— 2008.— С. 18—19.
6. Konopaltseva L. I., Strebezhev V. N., Rarenko A. I. et al. Interference IR-filters on the CdSb monocrystal substrates // Proc. of SPIE.— 1999.— Vol. 3890.— P. 104—110.
7. Стребежев В. М., Раренко І. М., Куликовська С. М., Дремлюженко С. Г. Вплив умов отримання на стабільність багатопарових інтерференційних покриттів на базі CdSb // Наук. вісн. Чернівецького університету. Фізика. Електроніка.— 2000.— Вип. 79.— С. 22—24.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Блум Хансиоахим. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств.— М.: Додэка, 2008.— 352 с.

В книге изложены физические и технические основы создания и применения импульсов высокого напряжения с большой мощностью и энергией. По сути книга представляет собой путеводитель по огромному количеству публикаций данной тематики, как классических, так и современных.

В первой части описаны компоненты, материалы и методы измерений, используемые в технике получения мощных импульсов. Во второй части — некоторые из наиболее перспективных применений этой техники в биоэлектрике, поверхностной обработке металлов, медицине, селективном размельчении различных материалов и т. д. Описаны генераторы мощных импульсов электрического и магнитного поля, источники интенсивного импульсного излучения и импульсных электрических разрядов.

Книга адресована широкому кругу читателей, особенно полезна студентам, преподавателям вузов, инженерам и ученым смежных областей знаний.

Питер Уилсон. Приемы проектирования на ПЛИС.— М.: Додэка, 2009.— 272 с.

Книга представляет собой настольный справочник для инженеров, студентов и исследователей, которые используют FPGA в качестве аппаратной платформы. В ней приведены примеры основных моделей цифровых устройств (счетчики, регистры, дешифраторы, АЛУ и др.) и алгоритмов обработки данных (последовательная передача, последовательное/параллельное преобразование, криптозащита, обработка видеoinформации). Основной акцент сделан не на язык программирования VHDL как таковой, а на философию и технику, необходимые для создания безошибочно работающего приложения.

