

УДК 621.383.52:546.48'49'24

Оптический фильтр ИК-фотоприемника на основе эпитаксиального слоя КРТ, выращенного методом эпитаксии из металлоорганических соединений

К. О. Болтарь, Н. И. Яковлева, И. Д. Бурлаков, В. И. Стафеев,
М. В. Седнев, Е. В. Пермикина

ФГУП «Научно-производственное объединение "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

А. Н. Мусеев, А. П. Котков, Н. Д. Гришинова
Институт химии высокочистых веществ РАН, г. Н.-Новгород, Россия

Оптические фильтры, устраняющие чувствительность ИК-фотоприемника вне полосы прозрачности атмосферы, существенно улучшают распознавание удаленных объектов за счет уменьшения шумов, вызванных турбулентностью атмосферы. Экспериментально исследован оптический фильтр для спектрального диапазона 8—12 мкм, изготовленный на основе эпитаксиального слоя КРТ, выращенного методом эпитаксии из металлоорганических соединений. Пропускание в диапазоне длин волн 8—12 мкм превышает 80 %, на длине волны 7 мкм — 40 %, 6 мкм — 10 %, 5 мкм — менее 2 %.

Основные преимущества охлаждаемых фотоприемников связаны с высокой квантовой эффективностью и высокой чувствительностью. Оптические фильтры блокируют пропускание ИК-фотоприемника, устраняют чувствительность вне полосы прозрачности атмосферы, существенно улучшают распознавание удаленных объектов за счет уменьшения шумов, вызванных турбулентностью атмосферы.

Оптические фильтры, расположенные в охлаждаемой зоне ИК-фотоприемника, уменьшают фототок, вызванный фоновым ИК-излучением, повышают удельную обнаружительную способность каждого элемента фотоприемника и диапазон температур объекта, в котором работоспособен ИК-фотоприемник.

Для создания фильтров с полосой пропускания 8—12 мкм обычно используют многослойные интерференционные покрытия. Характеристики этих фильтров существенно зависят от угла падения излучения, поэтому интерференционные фильтры малоэффективны для ИК-объективов с большой светосилой.

В работе [1] приведены параметры и характеристики оптических фильтров на основе материалов ZnSe и PbSe.

Для спектрального диапазона 8—12 мкм предлагается использовать в качестве оптических фильтров эпитаксиальные слои CdHgTe, выращенные методом химического осаждения из паров металлоорганических соединений (МОС) и ртути.

Выращивание эпитаксиальных слоев КРТ

Процесс выращивания эпитаксиального слоя КРТ проводился в вертикальном кварцевом реакторе на подложках из GaAs с ориентацией поверхности (100) и

(111)В в Институте химии высокочистых веществ РАН, г. Н.-Новгород [2]. Для осаждения использовали высокочистые металлоорганические соединения: диэтилтеллур (ДЭТ), диизопропилтеллур (ДиПТ), диметилкадмий (ДМК), диэтилцинк (ДЭЦ) и металлическую ртуть, транспортировавшиеся в реактор потоком водорода, очищенного диффузией через палладиевый фильтр.

Процесс выращивания содержал следующие основные операции:

- отжиг подложки в потоке водорода для удаления окисного слоя при температуре 600 °С;
- выращивание буферного слоя из теллурида кадмия или теллурида кадмия с добавлением теллурида цинка;
- послойное осаждение КРТ, заключавшегося в нанесении тонких чередующихся слоев CdTe и HgTe с последующей гомогенизацией состава, т. е. перемешивание этой многослойной структуры за счет взаимной диффузии путем отжига в парах ртути при температуре 350 °С;
- отжиг в парах ртути при температуре 320—350 °С.

После оптимизации технологии разработаны три варианта послойного осаждения КРТ при относительно низкой температуре подложки 350 °С.

1. Первый вариант — с использованием только ДЭТ. В этом случае для достижения приемлемых скоростей роста осаждение бинарных соединений необходимо проводить при изменяющейся температуре стенок зоны реактора, предшествующей подложке. HgTe выращивают при температуре стенок 370 °С, CdTe — 300 °С. При выращивании подслоя HgTe уменьшается общий поток через реактор также для увеличения степени распада ДЭТ до его контакта с подложкой. Средняя скорость роста КРТ составляет 1—2 мкм/ч.

2. Второй вариант — использование ДЭТ для выращивания CdTe и ДиПТ — для HgTe позволяет проводить послойное осаждение при постоянной температуре стенок, изменяя только величину потока через реактор. В этом случае средняя скорость роста КРТ составляет 1,5—

3 мкм/ч.

3. Третий вариант — использование только ДиПТ. Этот режим осаждения аналогичен второму варианту. Но поскольку уменьшается время продувки реактора между чередующимися слоями, средняя скорость роста КРТ увеличивается до 3—5 мкм/ч.

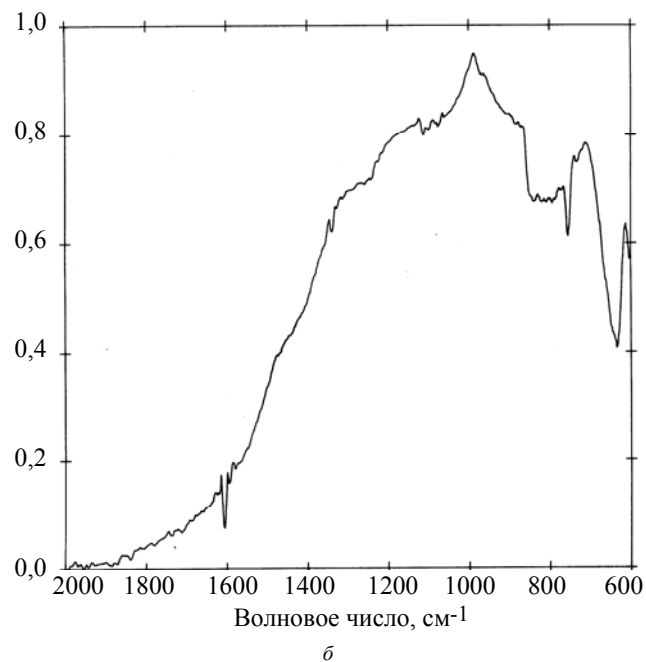
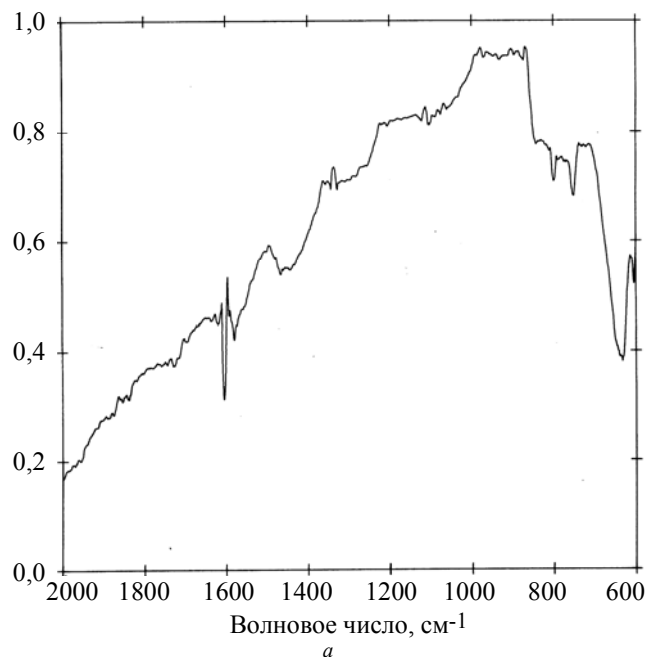
Всеми вариантами получены слои КРТ различного состава с $x = 0,16—0,45$. Измеренная однородность состава слоя составляет 0,005 на площади 4 см^2 . Толщина слоев КРТ различных образцов составляла 4—10 мкм. Тыльная сторона подложки полировалась. На фильтр с обеих сторон нанесены однослойные просветляющие покрытия на длину волны максимального пропускания 10 мкм.

Результаты исследований

Проведены исследования спектров пропускания фильтров, изготовленных на основе эпитаксиальных слоев полупроводниковых растворов CdZnTe, выращенных методом химического осаждения из паров МОС и ртути на подложках GaAs ориентации (100) и (111)В при пониженном давлении (0,2 атм) и температуре 350 °С.

Спектры пропускания оптических фильтров на основе материала HgCdTe исследовались с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра. Образцы помещали в криостат и проводили измерения при температурах 300 и 80 К. Диапазон волновых чисел исследованных спектров пропускания составлял $600—2000 \text{ см}^{-1}$.

Спектры пропускания оптического фильтра МСТ649-1 при температурах 300 и 80 К представлены на рисунке, а, б. Толщина буферного слоя CdTe этой структуры составляет 5 мкм, толщина слоя КРТ — 4 мкм.



Спектр пропускания оптического фильтра МСТ649-1:
а — при $T = 300 \text{ К}$; б — при $T = 80 \text{ К}$

Из спектра пропускания можно оценить край собственного поглощения в области коротких длин волн, который составляет 6,5 мкм при $T = 300 \text{ К}$ и 7,14 мкм — при $T = 80 \text{ К}$.

Спектры пропускания фильтра исследовались как при перпендикулярном падении ИК-излучения, так и под углом к поверхности. В отличие от интерференционных фильтров, спектр пропускания слабо изменяется от угла падения излучения. Пропускание в диапазоне длин волн 8—12 мкм превышает 70 %, на длине волн 7 мкм — 40 %, на длине 6 мкм — 10 %, на длине 5 мкм — менее 2 %. Крутизна спада пропускания фильтра в коротковолновой области может быть улучшена за счет увеличения толщины слоя КРТ в два—три раза.

Литература

1. Hawkins G. J., Seeley J. S., Hunneman R. Spectral characterization of cooled filters for remote sensing// SPIE. 1988. V. 915.
2. Boltar K. O., Iakovleva N. I., Golovin S. V., Ponomarenko V. P., Stafeev V. I., Burlakov I. D. Research, Development, and Production Ctr. ORION (Russia); Moiseev A. N., Kotkov A. P., Dorofeev V. V. Chem-

istry Institute of Rare Materials RAS (Russia), 128×128 MWIR FPA on the base of epitaxial layer MCT grown by MOCVD [5126-08]// Proceedings of SPIE. 2003. V. 5126. P. 86—90.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

Cold optical filter on the base of HgCdTe epitaxial layer grown by MOCVD

K. O. Boltar, N. I. Iakovleva, I. D. Burlakov, V. I. Stafeev, M. V. Sednev,
E. V. Permikina

ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

A. N. Moiseev, A. P. Kotkov, N. D. Grishnova

Chemistry Institute of Rare Materials Russian Academy of Science, N-Novgorod, Russia

The optical filter for 8—12 microns spectral range on the base of MCT epilayer grown by Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) has been investigated. The CdTe mole fraction in $Hg_{1-x}Cd_xTe$ was equal $x = 0.24$. The single-layer antireflection coatings for 10 μm peak wavelength have been deposited on the both sides of the filter. Transmission in 8—12 spectral range exceeds 80 %. Transmission at 7 μm is of 40 %, at 6 μm — 10 %, at 5 μm — less than 2 %. Short wavelength transmission slope of filter could be improved by means of MCT layer width 2—3 times increase.

УДК 621.383

Плазмохимическое осаждение пленок оксинитрида кремния для пассивации поверхности КРТ

V. V. Васильев, Ф. Н. Дульцев, Ю. П. Машуков, И. О. Парм, А. П. Соловьев

Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Использование реактора с планарно-индукционным источником плазмы позволило минимизировать радиационные воздействия на поверхность полупроводниковой подложки. Определены технологические режимы осаждения слоев оксинитрида кремния высокого качества при комнатной температуре для пассивации поверхности образцов р-типа $Hg_{0,78}Cd_{0,22}Te$.

Плазма высокочастотных газовых разрядов широко используется при осаждении тонких пленок для целей микроэлектроники. В настоящее время наметился переход к процессам с использованием источников плазмы высокой плотности. Термин "источник плазмы высокой плотности" включает в себя все источники с плотностью ионов выше 10^{11} см⁻³. Источники плазмы высокой плотности обеспечивают отношение ион—нейтральная частица на уровне процентов и плазменный потенциал порядка десятков вольт [1]. Ионные потоки высокой плотности приносят на поверхность образца дополнительную энергию, что позволяет осаждать слои с более высокой плотностью и с совершенством структуры при заданной температуре синтеза.

Планарно-индукционный источник плазмы — это источник плазмы высокой плотности, позволяющий уменьшить размеры реактора и как следствие потребляемую высокочастотную (ВЧ) мощность при обработке плоских образцов. Зона разряда обычно представляет собой цилиндрический объем, диаметр которого много больше его длины. Форма разряда в сечении может быть выбрана любой другой в зависимости от конкретных приложений. Индукционную катушку в целях уменьшения загрязнения металлами полупроводниковых структур располагают вне вакуумного объема, она отделена от плазмы диэлектрическим окном. Тем не менее возможно размещение индукционной катушки и в зоне разряда. Диэлектрическое окно обычно изготавливают из кварца или сапфира. Образец помещают на