

Л и т е р а т у р а

1. Изделия из пластмасс: Справочное руководство по выбору, применению и переработке. — М., 1992.
2. DIAKON/ Technical manual, United Kingdom, 1995.
3. Поликарбонат фирмы Bayer// Химический журнал. 2004. № 2.

4. Высокоэффективные материалы для инновационных применений: Каталог продукции фирмы Ticona. — Ticona, Франкфурт-на-Майне, 2004.
5. Технологии, материалы, оборудование/Инженерная фирма АБ Универсал. — М., 2001.
6. Анализ впрыска и выдержки под давлением: Отчет № 5. Инженерная фирма АБ Универсал. — М., 1997.
7. Вестник оптометрии. — М., МСОО-2004.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Modern tendencies in an industrial technology of manufacturing the polymeric optical elements for night vision devices

A. I. Goev, N. A. Knyazeva, V. V. Potelov, B. N. Senik
S. A. Zverev Krasnogorsk Plant, Krasnogorsk of Moscow Region, Russia

Consideration is made to comprehensive approach to making an industrial technology of manufacturing the polymeric optical elements. Account is made of optical polymeric materials, thermoplastic automatic machines, opportunities of the Moldflow system (Universal Corp.) by way of mathematical modelling a manufacturing process of injection molding and manufacture of moulds.

УДК 621.382.002

Электронно-оптический преобразователь с 1,06-мкм-InGaAs-фотокатодом

В. И. Сахно, А. В. Долгих, В. И. Локтионов
ООО "Катод", г. Новосибирск, Россия

Рассмотрена конструкция гетероструктуры на основе соединения InGaAs, позволяющая продвинуть спектральную характеристику фотокатодов в ИК-область. Обсужден технологический процесс изготовления электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с фотокатодным узлом на основе соединений InGaAs. Лучший образец ЭОП имеет интегральную чувствительность 750 мкА/лм, спектральную чувствительность 2,5 мА/Вт на $\lambda = 1,06$ мкм.

Интерес к фотокатодам, чувствительным в длинноволновой области спектра, не ослабевает по нескольким причинам:

из-за более высокой в этой области интенсивности излучения ночного неба (рис. 1);

из-за значительной разницы в коэффициентах отражения естественных и искусственных объектов в области спектра более 0,9 мкм (рис. 2);

из-за появления эффективных лазерных излучателей на основе Nd:YAG с длиной волны излучения 1,06 мкм и возможности визуализации их излучения.

Единственным фотокатодом, чувствительным в области более 0,9 мкм, является кислородно-

серебряно-цезиевый, имеющий границу в пределах 1,2—1,3 мкм. Недостаток данного фотокатода — низкая интегральная чувствительность (30—45 мкА/лм) и высокий темновой ток (10^{-13} — 10^{-11} А/см²).

Позднее созданные многощелочные фотокатоды имеют предел 0,9 мкм.

Возможность создания фотокатода с продленной спектральной характеристикой в длинноволновой области спектра появилась после освоения изделий 3-го поколения с фотокатодами на основе соединений A_3B_5 путем введения в активный слой GaAs 10—16 % In и создания таким образом тройного соединения InGaAs (рис. 3, 4).

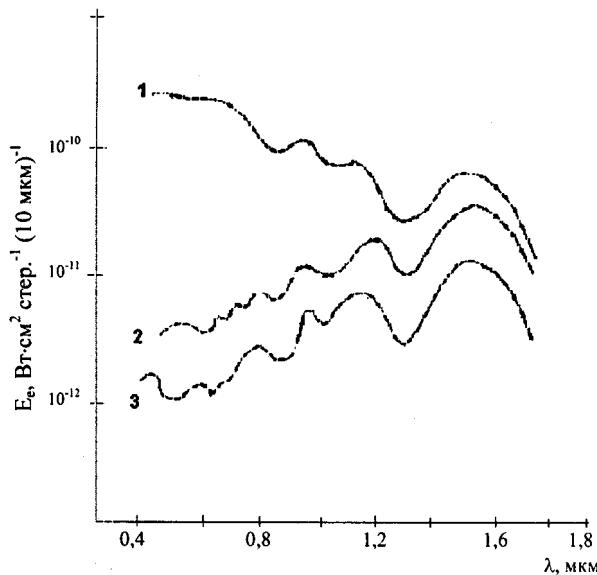


Рис. 1. Спектральная характеристика излучения ночного неба:

E_e — яркость в разных условиях:

- 1 — лунная безоблачная ночь; 2 — звездная безоблачная ночь; 3 — звездная безлунная ночь, небо затянуто облаками

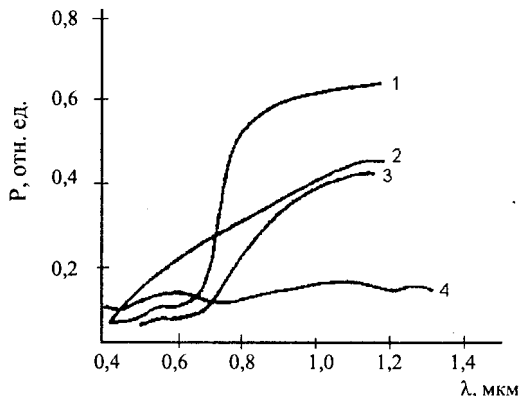


Рис. 2. Спектральная характеристика отражения фона и объектов наблюдения:

P — коэффициент отражения в разных условиях:

- 1 — зеленая трава, листва деревьев; 2 — увядшая трава; 3 — одежда защитного цвета; 4 — автомашина

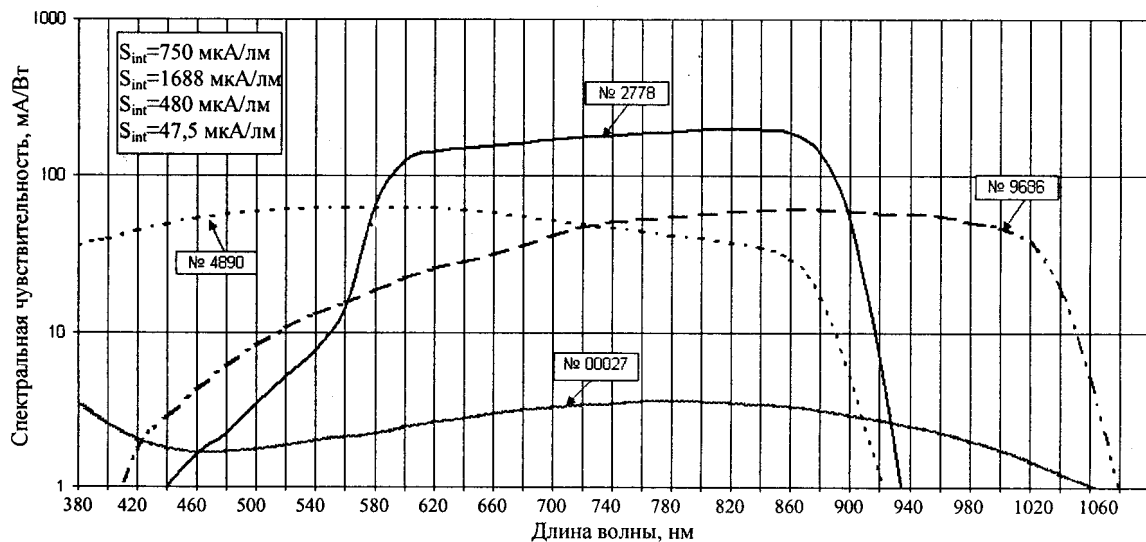
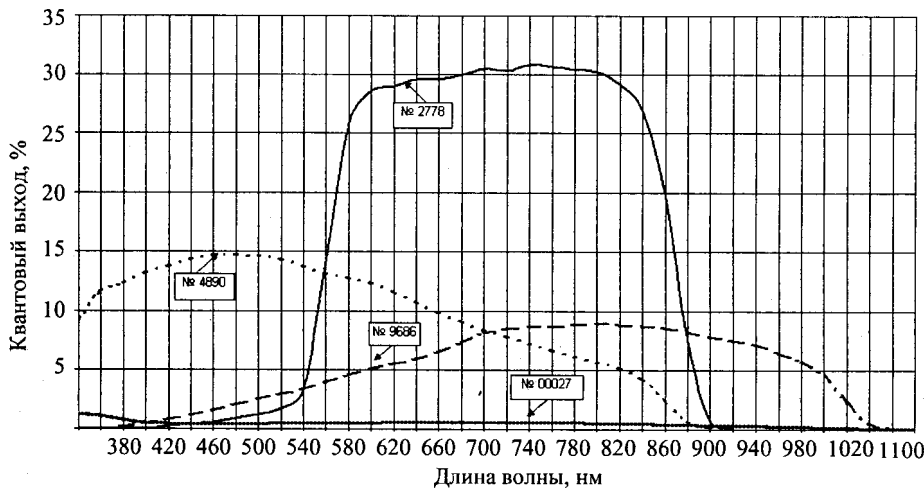


Рис. 3. Спектральная чувствительность ЭОП с фотокатодами: кислородно-серебряно-цезиевым; мультищелочным; арсенид-галлиевым; на основе соединений $InGaAs$

Рис. 4. Квантовая эффективность ЭОП с фотокатодами: кислородно-цезиевым; мультищелочным; арсенид-галлиевым; на основе соединений $InGaAs$



В настоящей работе обсуждаются технологический процесс разработки гетероэпитаксиальной структуры и фотокатода на основе соединений InGaAs, а также результаты обследования разработанных электронно-оптических преобразователей с фотокатодом на основе соединений InGaAs.

При разработке гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) на основе соединений InGaAs рассматривались два метода их роста — МОС-гидридная технология и технология МЛЭ.

При выращивании ГЭС по МОС-гидридной технологии рост структур проходит в диапазоне температур 650—800 °С, что способствует повышенному образованию дислокаций в ГЭС, в то время как по технологии МЛЭ рост структур ведется при температуре 470—500 °С.

Точность легирования слоев ГЭС по МОС-гидридной технологии находится в пределах 10 %, а по технологии МЛЭ — 1 %. Себестоимость ГЭС, выращенных по МОС-гидридной технологии, значительно меньше.

В данной статье применили МОС-гидридную технологию из экономических соображений.

Рост структур проводился на установке Д-75 фирмы EMCORF (США). Для in-situ-контроля толщин и составов выращенных слоев использовался встроенный спектроскопический эллипсометр М-44 фирмы J. A. Woollam (США). Качество гетероструктур оценивалось с помощью оптического микроскопа и по уровню фотолюминесценции при комнатной температуре, возбуждаемой He—Ne-лазером.

Схема InGaAs фотокатодной гетероструктуры приведена в таблице.

Наименование слоя	Состав слоя	Уровень легирования, см ⁻³	Толщина слоя, мкм
Подложка	GaAs:Si HB(100)	(2—3)·10 ¹⁸	380
Буфер	GaAs	Нелегированный	0,1
Градиентный	In _x Ga _{1-x} As	"	0,4—2,5
Сверхрешетка	30 Å GaAs/ 30 Å InGaAs 15 периодов	"	0,09
Стоп-слой травления	InGaAlAs:Zn	<10 ¹⁹	0,55
Активный	InGaAs:Zn	1,1·10 ¹⁹	2,5
Градиентный	In _x Ga _{1-x} Al _{1-x-y} As:Zn	1,1·10 ¹⁹ —2·10 ¹⁸	0,3
Оконный	InAlAs:Zn	2·10 ¹⁸	0,3
Защитный	InGaAlAs:Zn	2·10 ¹⁸	60 Å

Для обеспечения продвижения спектральной чувствительности в ближнюю ИК-область гетероструктуры содержат In_xGa_{1-x}As (0,14 ≤ x ≤ 0,16) в качестве активного и AlInAs — в качестве оконного слоя.

Индийсодержащие слои гетероструктуры выращивались на релаксированном буферном слое

на подложках GaAs (100). Для буферного слоя в качестве базовой использована конфигурация, состоящая из градиентного слоя и сверхрешетки как фильтра дислокаций.

В данной статье основное внимание уделено конструкции и технологии градиентного слоя. Для согласования параметров решетки слоев структуры и градиентного слоя в конечном составе последнего содержание индия должно превышать его содержание для слоев структуры. Из экономических соображений и в целях уменьшения высоты сетки дислокаций целесообразно уменьшить толщину градиентного слоя. При выращивании градиентного слоя методом МОС-гидридной эпитаксии использована комбинация шагового и градиентного изменений состава при условии, что суммарная величина упругих напряжений не превысит 0,018 %.

Для гетероструктуры с содержанием индия в активном слое x = 0,14 были выращены гетероструктуры с различной толщиной градиентного слоя (2,5—0,4 мкм).

На рис. 5 показаны уровни фотолюминесценции гетероструктур с разными толщинами градиентного слоя. Видно, что уменьшение толщины этого слоя до 0,4 мкм не приводит к снижению уровня фотолюминесценции.

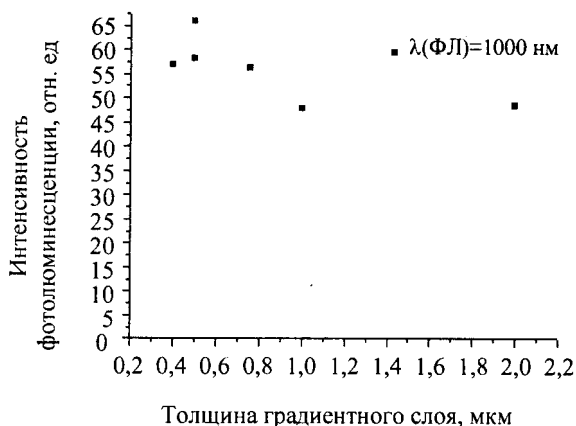


Рис. 5. Уровни фотолюминесценции гетероструктур с разными толщинами градиентного слоя

При выращивании слоев состава AlInAs технические трудности не возникали, выращенные структуры ростовых дефектов не имели.

При разработке конструкции фотокатодного узла на основе соединений InGaAs проведена работа по выбору термически согласованного с ГЭС стекла. В работе обследовались стекла марок А54-1, С52-2, С57, склейка А54-1 — С52-2 (0,3 мм).

Установлены основные параметры термокомпрессионной сварки: температура диффузионной сварки и величина нагрузки при проведении операции. На технологические параметры термокомпрессии оказывает большое влияние материал покрытия эпитаксиальных структур. На границе диэлектрическое покрытие — слой

InAlGaAs происходит расслоение. Адгезионно-прочным является спай при использовании SiO. Термомеханическую прочность спаия определяют остаточные напряжения, возникающие в материалах фотокатодного узла. В нашем случае для подложки фотокатода выбраны стекла марки С57, при этом получены удовлетворительно согласующиеся с гетероструктурой спаия (величина остаточных напряжений — $(29-40) \cdot 10^{-8}$ Па).

Уровень критических напряжений, выше которых в InGaAlAs начинается генерация дислокаций, составляет $3 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-7}$ Па при температурах порядка 600 °С. Поэтому полученные остаточные напряжения $(29-40) \cdot 10^{-8}$ Па не превышают уровень критических значений.

Можно считать, что использованный процесс не приведет к дополнительной генерации дислокаций в InGaAlAs. Отработанный технологический процесс получения термокомпрессионного сочленения обеспечивает качественный спай, сохраняя геометрические размеры стеклянной подложки с точностью до 0,02 мм.

Значительное время затрачено на разработку технологии селективного травления подложки, стопорного слоя и финишного травления поверхности фотокатода, которая обеспечивает получение зеркальной, атомарно-чистой (без продуктов реакции) поверхности фотокатода перед загрузкой фотокатодного узла в установку финишной обработки и сборки вакуумного блока [1-4].

При выборе технологии селективного и финишного травлений отработывался следующий вариант травления фотокатодного узла:

- химическое травление в 3%-ном растворе бромэтиленгликоля при комнатной температуре;
- химическое травление в изопропиловом спирте, насыщенном HCl в течение 2 мин, с последующей промывкой в изопропиловом спирте.

Фотокатодные узлы, обработанные по приведенным технологиям селективного и финишного травлений, имели атомарно-чистую поверхность.

В процессе финишной обработки фотокатодного узла в установке переноса при температуре 550-600 °С произошла реконструкция поверхности гетероструктуры (4x2), после чего фотокатодный узел охлаждался, и проводилась обработка активного слоя фотокатодного узла Cs и O.

По разработанной технологии изготовлена партия электронно-оптических преобразователей, лучший из которых имеет следующие показатели: $S_{int} = 750$ мкА/лм; $S_{\lambda 860} = 61,1$ мА/Вт; $S_{\lambda 460} = 4,3$ мА/Вт; $S_{\lambda 1060} = 2,5$ мА/Вт.

Литература

1. Cao D. C. and others// Journal of Applied Physics. 1989. V. 65. № 6. P. 2451-2456.
2. Terfost J.// Applied Physics Letters. 1993. V. 62. № 7. P. 693-695
3. Kidd P. and others// Journal of Crystal Growth. 1996. V. 169. P. 649-659
4. US Patent 5,610,078.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Image intensifier tube (I²) with the 1.06- μ m InGaAs photocathode

V. I. Sakhno, A. V. Dolgykh, V. I. Loktionov
Katod Joint-Stock Company, Novosibirsk, Russia

Presented is a heterostructure arrangement on base of the InGaAs compound that allows extending a photocathode spectral response to the IR region. A technological process of the I² with a photocathode assembly on the InGaAs base is discussed. The best sample of the I² has on integral sensitivity of 750 μ A/lm and a spectral sensitivity of 2.5 mA/W at $\lambda=1.06$ μ m.