

Thermal imaging microscope

*V. M. Bazovkin, A. A. Gusev, A. P. Kovchavtsev, G. L. Kuryshev,
A. S. Larshin, V. G. Polovinkin
Institute of Semiconductor Physics, Novosibirsk, Russia*

The construction, technical parameters and examples of application thermal imaging microscope are considered. The device designed on the basis of a hybrid microcircuit of matrix photodetector device InAs. Dimensionality of a photodetector matrix is 128×128, a step of cells (sensors) 50 μm, a working range of lengths of waves 2.5–3.1 μm. At use of an IR objective with a relative aperture 1:1.8 and 10^x optical magnification is received the temperature resolution 0.2 and 0.015 K for the objects having temperature 300 and 450 K, accordingly. The spatial resolution of the device in these conditions has made ~7 μm at the diffraction resolution limit 2.5–3.0 μm. The possibility of improvement of the spatial resolution by means of numerical processing the image is tested.

УДК 537.311.33:621.384.3

Современные тенденции в промышленной технологии изготавления полимерных оптических элементов для приборов ночного видения

*A. И. Гоев, Н. А. Князева, В. В. Потелов, Б. Н. Сеник
ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева", г. Красногорск, Московская обл., Россия*

Рассмотрен комплексный подход к созданию промышленной технологии изготавления полимерных оптических элементов; представлена информация по оптическим полимерным материалам, термопластоматам, возможности системы Moldflow (фирма АБ "Универсал") в плане математического моделирования технологического процесса литья под давлением и изготовления пресс-форм.

В последние годы оптические полимерные элементы (ОЭП) с учетом высокого качества и низкой себестоимости их изготовления, многофункциональности находят все более широкое применение в оптических системах приборов различного назначения. Усилиями производителей оптических полимерных материалов (полистиролы — ПС, полиметилметакрилаты — ПММА, поликарбонаты — ПК, термопластоматы, в частности, немецких фирм ARBURG, BATTENFELD, DEMAG), конструкторов, программистов, технологов научных организаций и предприятий созданы все условия для изготовления оптических полимерных элементов средней точности ($N \leq 5$, $\Delta N \leq 0,5$).

Наиболее широкое применение они находят в оптических системах визирных каналов и объективов фотоаппаратов и видеокамер, дневных иочных наблюдательных приборов и т. д. Очень перспективно их использование в оптоэлектронике, при изготовлении светодиодов с учетом резковозрастающей потребности в них.

К преимуществам полимерной оптики можно отнести: изготовление оптических элементов сложной формы с несколькими рабочими поверхностями, в том числе и асферическими; использование при изготовлении оптических элементов технологий массового производства; одновременное изготовление оптических поверхностей и элементов конструкции, а также малый вес.

Недостатками являются: повышенный коэффициент термического расширения; большой температурный коэффициент показателя преломления; низкая устойчивость к воздействию окружающей среды; старение.

В настоящее время все более широко применяется изготовление оптических элементов (ОЭ) из полимерных материалов, обладающих уникальными свойствами, в частности, с заданными спектральными свойствами по аналогии с цветными оптическими стеклами.

Оптические полимерные материалы

Полимерные материалы, используемые для производства ОЭ, часто классифицируют в зависимости от величины показателя преломления. Все существующие полимеры не имеют большого различия по показателю преломления и занимают промежуточное положение между бариевыми кристаллами и тяжелыми флинтами в довольно узком диапазоне, поэтому при расчете сложных оптических систем из-за отсутствия возможности устранения хроматических aberrаций применение полимеров весьма ограничено. Для изготовления ОПЭ наиболее часто применяются полиметилметакрилаты (ПММА) и поликарбонаты (ПК). Эти материалы являются типичными представителями термопластических полимеров [1].

ПММА является механически и оптически изотропным материалом [2]. Однако под влиянием приложенных напряжений и связанных с ними деформаций он приобретает анизотропные свойства — вынужденное двойное преломление. Явление двойного лучепреломления используется для исследования процессов формования, направления течения материала в форме.

В результате формования ПММА происходят упорядочение линейных частиц полимера и преимущественная ориентация их в одном направлении, т. е. изделие приобретает анизотропные свойства. Ориентирование полимера имеет место при течении, причем это состояние при оставании формы замораживается. В результате упорядочения линейных частиц появляется двойное лучепреломление, и при рассмотрении изделия в проходящем монохроматическом поларизованном свете наблюдаются "полоски". Форма и размещение этих "полосок" дают возможность определить место и характер напряжений. Таким путем удается оценить правильность конструктивного решения формы и проектирования изделия в целом.

Коэффициент светопропускания для ПММА $\geq 92\%$.

В области инфракрасного излучения наблюдаются полосы поглощения при длинах волн 1170, 1400, 1700 и 1900 нм.

В области ультрафиолетового излучения коэффициент светопропускания для волн различной длины составляет: при 302 нм $\geq 27\%$, при 340 нм $\geq 92\%$.

ПК обладает рядом свойств, играющих важную роль в оптике. У него очень высокая ударная прочность, высокий показатель преломления, малый удельный вес, он высокоустойчив к нагреванию и очень эффективен в защите от УФ-излучения (полное поглощение УФ-излучения в диапазоне до 380 нм). Поликарбонатные детали в отличие от деталей из других полимеров не надо подвергать специальной обработке для усиления УФ защитных свойств [3].

ТОПАС (циклоолефиновый сополимер) представляет новый класс полимерных материалов, свойства которых в отличие от традиционных полимеров можно менять в процессе полимеризации [4]. Этот новый материал демонстрирует уникальную комбинацию свойств. Преимущества его следующие: низкая плотность; высокая прозрачность ($\tau \geq 93\%$); очень хорошая текучесть (60 ед. при 1200 бар, спираль 2 мм); низкое двойное лучепреломление и др.

Оптическое двойное лучепреломление является критическим фактором, который должен контролироваться в оптических средствах хранения информации и ОЭП. Низкое двойное лучепреломление присуще ТОПАСу из-за алифатической структуры и низкой оптической анизотропии. Это свойство материала сопровождается низкой константой при нагрузке (табл. 1).

Таблица 1

Оптическая константа при нагрузке С

Материал	С ($10^{-6} \text{ мм}^2/\text{Н}$)
ТОПАС	От -2 до -7
ПММА	От -4,5 до -4,8
ПС	От 4 до 7
ПК	От 66 до 70

Сравнительные характеристики названных полимерных материалов приведены в табл. 2, где отражены их основные физико-механические и оптические свойства.

Таблица 2

Физико-механические и оптические свойства полимерных материалов

Материал	Удельный вес, $\text{г}/\text{см}^3$	Удельная ударная вязкость, $\text{кг}/\text{см}^2$	Коэффициент линейного расширения $\times 10^6$, град^{-1}	Термостойкость по Вика, $^{\circ}\text{C}$	Коэффициент преломления	Число АББЕ	Коэффициент светопропускания, %	Предельная рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$
ПС	1,05	10—14	80	90	1,591	30,8	89	82
ПММА	1,19	12—16	63	120	1,492	57,8	92	90
ПК	1,2	Деформируется, но не разрушается	60	150	1,586	-30	88	120
ТОПАС	1,02	13	60	130	1,53	58	93	-100

Основные аспекты технологии

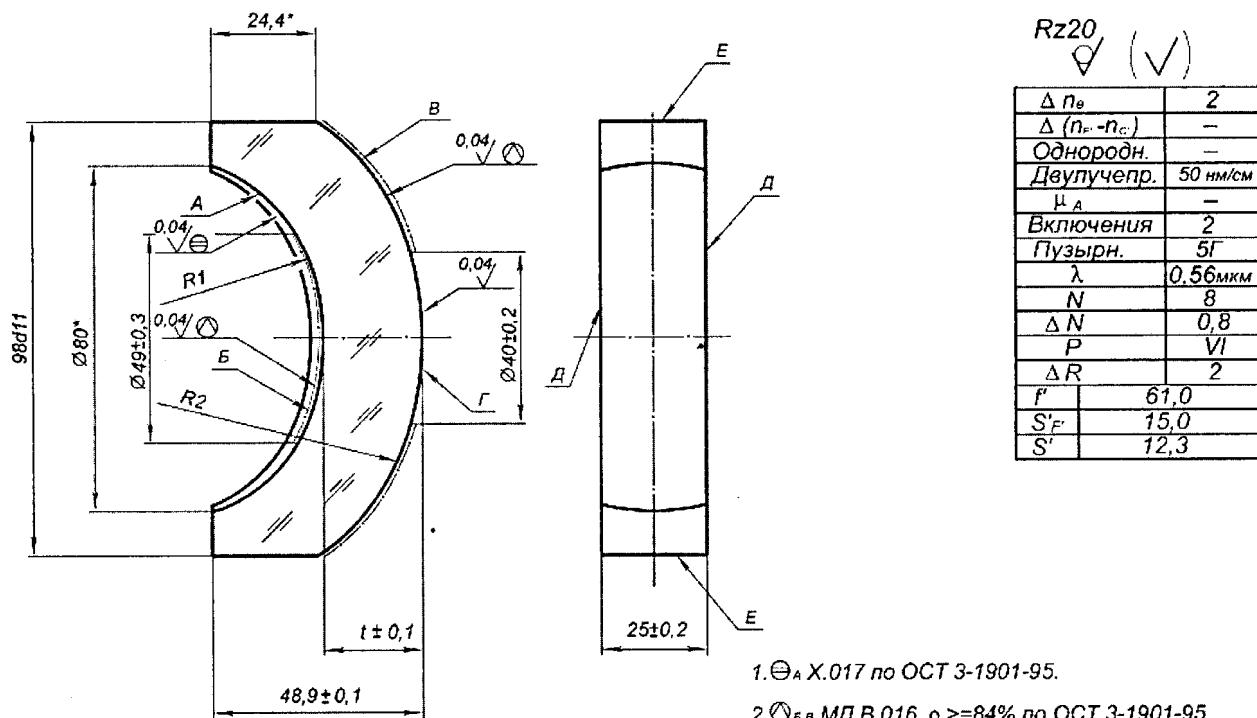
Производство совершенных во всех отношениях оптических полимерных элементов (ОПЭ) невозможно без использования самых современных технологий. Математическое обеспечение и специальные компьютерные программы фирмы Moldflow используются для [5, 6]:

- анализа модели ОПЭ;
- оценки ее технологичности;
- выбора полимерного материала;
- выбора литьевой машины (термопластомата);
- расчета усадки;
- анализа "проливаемости" изделия;
- оптимизации литниковой системы;
- оптимизации технологического режима литья;
- оптимизации системы охлаждения;
- моделирования оснащения;
- анализа поведения изделия при эксплуатации и позволяют решить практические производственные задачи в изготовлении высокоточных ОПЭ, найти оптимальный вариант среди множества параметров, влияющих на проблему качества.

На рис. 1 представлен эскиз первоначального изделия. Далее на экране компьютера создается математическая модель будущего изделия. Наличие математической модели дает реальный прототип, который позволяет визуально представить деталь, оценить "проливаемость" изделия, коробление отливки, определить оптимальные режимы

лития и охлаждения, параметры давления, температуры, длительность процесса. На рис. 2 и 3 (как пример) представлены схемы давления расплава в конце заполнения отливки (всего требуется 0,436 МПа для заполнения этого толстостенного изделия) и общее время охлаждения для обеспечения стабильности режимов литья с помощью анализа по системе Moldflow. Общее время охлаждения изделия до температуры извлечения из пресс-формы (100 °С) равно 842 с.

На качество ОЭП решающее влияние оказывают конструкция пресс-формы и особенно конструкция и размеры литниковой системы. При проектировании оснащения необходимо стремиться к созданию литниковой системы минимальных размеров. Благодаря этому снижаются потери давления, уменьшается расход материала, облегчается отделение детали от литника. Однако на практике всегда приходится искать оптимальный компромисс, так как литниковая система с минимальными размерами не всегда позволяет получить ОПЭ высокого качества. На выбор литниковой системы оказывают влияние различные факторы: величина и конфигурация отливаемой детали, конструкция литьевой формы, реологические свойства перерабатываемого полимера и мощность литьевой машины. При изготовлении литниковых систем в формах необходимо обращать внимание на чистоту их поверхности. Поверхности обяза-



1. Θ_A X.017 по ОСТ 3-1901-95.

2. Ø_{B,B} МД.В.016, ρ >= 84% по ОСТ 3-1901-95.

3. Покрытие поверхностей Д, Е, Б, В
эмаль ПФ-223, черная.ХЛ2.

Рис. 1. Конструкция полимерной бинокулярной линзы
(материал — ПММА)

тельно должны полироваться, для того чтобы обеспечить ламинарное течение расплава и плавное заполнение оформляющих гнезд. Оптические детали, как правило, отливаются в многогнездных формах. При проектировании многогнездных форм всегда следует стремиться к тому, чтобы все оформляющие гнезда располагались на равных расстояниях от главного канала для обеспечения одновременного заполнения гнезд и получения одинаковых по качеству деталей.

Изготовление пресс-форм представляет собой достаточно сложную техническую проблему из-за весьма тонкой и точной структуры ОЭП. Эта проблема начинается с выбора материала для изготовления оформляющих вставок. Основные требования, предъявляемые к используемым материалам, идущим на изготовление оформляющих вставок, следующие:

высокая поверхностная твердость, достаточная прочность на сжатие сердцевины и высокая износостойкость;

отличная полируемость, необходимая для получения высокого класса чистоты;

высокая коррозионная стойкость, которая достигается либо применением нержавеющих сталей с хорошей полируемостью, либо нанесением на формообразующие элементы пресс-форм твердых хромовых покрытий.

Оформляющие вставки являются наиболее сложными и дорогостоящими частями формы, поэтому их расчету и изготовлению уделяется особое внимание. Полимеры имеют довольно большую усадку, которая является причиной нарушения точности геометрических размеров, сферических и асферических поверхностей, поэтому усадку необходимо учитывать при проектировании оснащения. Пооперационная технология изготовления оформляющих вставок очень длительная и сложная. Наиболее ответственными операциями являются шлифование и полирование, алмазное точение сферических и асферических поверхностей вставок.

Для изготовления ОЭП литьем под давлением используются термопластавтоматы широко известных фирм ARBURG, BATTENFELD, DEMAG (Германия) (табл. 3).

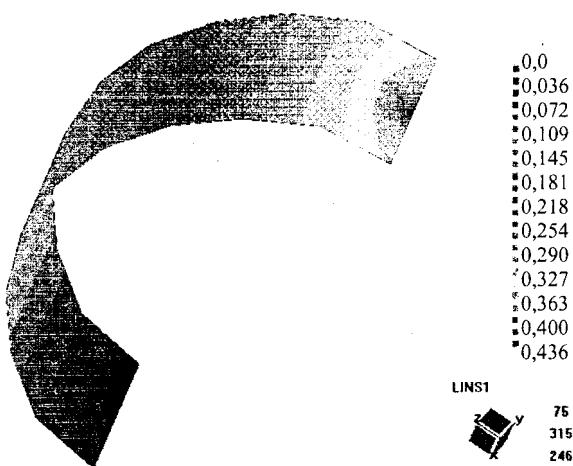


Рис. 2. Давление расплава в конце стадии заполнения
(диапазон от 0,036 до 0,436 МПа)

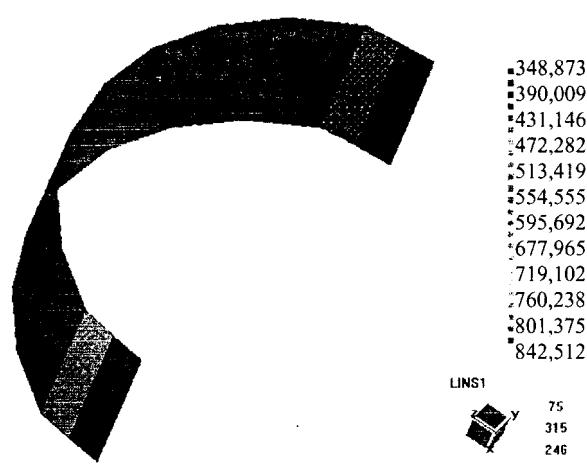


Рис. 3. Время охлаждения расплава
(диапазон от 348,873 до 842,512 с)

Таблица 3

Термопластавтоматы

Характеристика	ARBURG 750-210-320	BATTENFELD TM 750/210	DEMAG КД-100 NC 111
Усилие смыкания, тс	75	75	100
Ход открытия, max, мм	350	330	350
Монтажная высота формы, мм	250—625	200—400	200—480
Расстояние между плитами смыкания, мм	375	730	350
Расстояние между колоннами, мм	320×320	590×590	400×400
Усилие выталкивания, кН	38	26	40
Ход выталкивания, мм	150	100	120
Расчетный объем, см ³	73	74	160
Диаметр шнека, мм	25	25	38
Давление впрыска, бар	2950	2940	1730

В зависимости от точных характеристик (оптических и геометрических), требований к деталям по четкости выполнения их профиля, габаритов деталей используются различные модификации термопластиков (ТПА).

Для точного воспроизведения отпечатка необходимы ТПА с высоким давлением впрыска и многоступенчатой скоростью впрыска, для получения жестких оптических и геометрических характеристик необходимы высокоточные ТПА, для малых по объему деталей необходимо использование мини-машин.

Несмотря на большое разнообразие конструктивных вариантов исполнения ТПА, технологический процесс литья одинаков. Высушенный полимер, попадая из загрузочного бункера в нагретый по зонам материальный цилиндр, захватывается вращающимся шнеком, уплотняется, перемешивается и равномерно прогревается. Доза пластифицированного материала накапливается у сопла материального цилиндра перед торцом шнека. Пластифицированная доза при поступательном ходе шнека впрыскивается в форму, нагретую, как правило, до температуры выше температуры пластикации, где происходит формирование и отверждение изделия. Во время отверждения детали включается вращение шнека и набирается доза полимера для следующего цикла.

Для стабильного ведения процесса важнейшее значение имеют правильный выбор режимов литья и свойства перерабатываемых полимеров. Получение высококачественных изделий с малыми затратами возможно только при строгом соблюдении оптимальных технологических режимов, и в достижении этого все элементы производства имеют огромное значение.

Современные литьевые комплексы с микропроцессорным управлением и программным обеспечением к нему стоят дорого, и их применение должно быть тщательно просчитано.

Полимерная оптика по своим физико-химическим свойствам значительно отличается от традиционных оптических элементов из стекла. Поэтому контроль качества полимерных элементов в определенной степени отличается от традиционного контроля качества стеклянных оптических элементов. Прежде всего следует отметить невозможность контроля сферичности линз пробными стеклами из-за вероятности повреждения рабочих поверхностей вследствие низкой поверхностной твердости полимера [7].

Для определения качественной картины распределения внутренних напряжений в деталях используются полярископы. Качество полимерных линз определяется путем измерения отклонений от номинальных значений фокусного расстояния, рабочих отрезков, разрешающей способности по центру и по полю.

В качестве конкретных примеров применения полимерных оптических элементов представлены принципиальные оптические схемы окуляра и объектива для изделий ночного наблюдения (рис. 4, а, б).

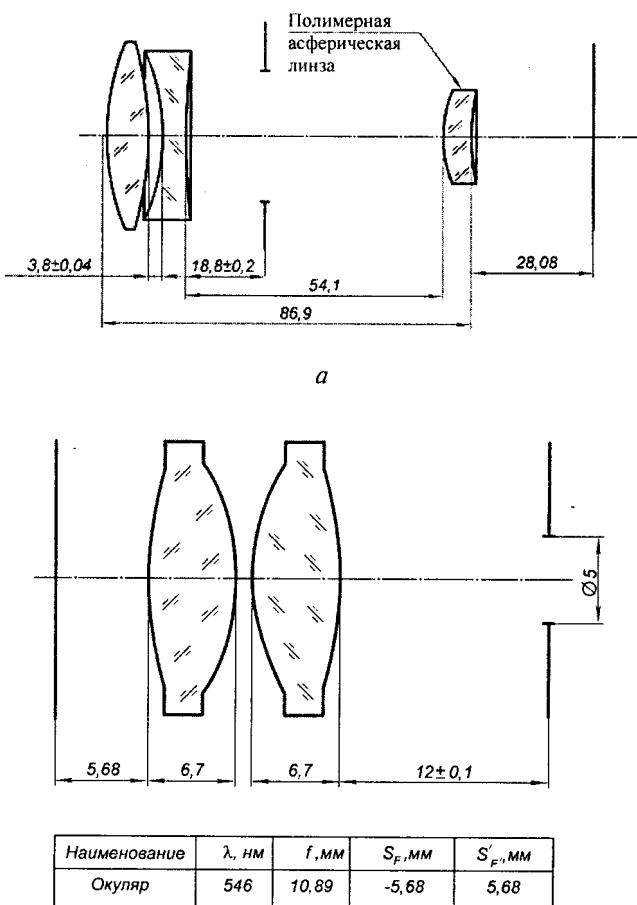


Рис. 4. Принципиальные оптические схемы:
 а — гибридного объектива для прибора ночного наблюдения НВ-100 (фокусное расстояние $84,89 \pm 0,85$ мм; относительное отверстие 1:1,6; угловое поле зрения в пространстве предметов $2W = 12^{\circ}03'$; линейное поле зрения в пространстве изображений $2Y' = 18$ мм; спектральный диапазон 680—780—900 нм);
 б — окуляра для гаммы приборов ночного наблюдения типа НВ. Использована асферическая линза двойного применения (видимое увеличение 22,96×; относительное отверстие 1:2,17; линейное поле в пространстве предметов 8,8 мм; угловое поле в пространстве изображений 45°47'; диапазон диоптрийной установки окуляра ±4 дптр, спектральный диапазон $\lambda_1 - \lambda_0 - \lambda_2 = 0,486 - 0,546 - 0,657$ мкм)

Заключение

Использование комплексной технологии изготовления полимерных оптических элементов позволило предприятию ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева" в течение последних 10 лет успешно их использовать в составе изделий фотоаппаратуры и целой гаммы изделий приборов ночного видения.

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., МCOO-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

B. И. Сахно, A. B. Долгих, B. 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 некоторым 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).