

УДК 621.3.012.7

П.В. Бухаров

Фотокатоды современных ЭОП

Рассматривается многообразие типов и особенности фотокатодов современных электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Рассмотрены основные параметры, классификация по возможностям регистрации спектра излучения.

Ключевые слова: ЭОП, фотокатод, электронное средство, спектр излучения.

Данный материал был подготовлен при работе над проектом: «Исследование и разработка методов коррекции искажений телевизионных датчиков в экстремальных условиях контроля и наблюдения» с целью выбрать электронно-оптический преобразователь (ЭОП) основываясь на его способности регистрировать излучение от исследуемого объекта, т.е. определить ЭОП с наиболее подходящим фотокатодом для активно-импульсной телевизионной системы, работающей в видимом диапазоне и ближней ИК-области.

Для телевизионных систем, работающих при недостаточной видимости (дождь, туман, дым...), главной задачей является получение качественного изображения объекта наблюдения. Одним из вариантов решения данной проблемы является смена регистрируемой аппаратурой спектра излучения, в котором низкая прозрачность атмосферы является существенным препятствием для прохождения сигналов с информацией об объекте наблюдения. Существует несколько «окон прозрачности» (поглощение сигнала менее 0,2 дБ/км) в ИК-диапазоне, самое ближнее к видимому спектру расположено в пределах 780–850 нм.

Из вышесказанного следует, что нам необходимо подобрать фотокатод, который будет захватывать видимый спектр излучения и окно прозрачности в ближней ИК-области. Как известно область применения ЭОП определяет необходимые материалы входного окна и фотокатода, которые должны использоваться [1, 2].

Фотокатод – один из основных элементов ЭОП. Его задача – эмиттировать электроны в вакуум под действием оптического излучения и тем самым превратить оптическое изображение в электронное.

Его основным параметром является чувствительность, определяемая отношением величины фототока к величине светового потока, вызвавшего его. Фотокатод реагирует на интенсивность светового потока и его частоту, поэтому его чувствительность разделяется на интегральную и спектральную (рис. 1).



Рис. 1. Характеристики фотокатодов

Интегральная чувствительность (S_A) характеризует способность фотокатода реагировать на воздействие всего светового потока, содержащего световые колебания различных частот. Обычно для измерения интегральной чувствительности используется источник света типа «А» (лампа накаливания с цветовой температурой вольфрамовой нити 2860 К), т.е. I_e/Φ (в А/лм).

Спектральная чувствительность фотокатода (S_λ) – отношение величины фототока к монохроматическому лучистому потоку Φ_λ (в Вт) т.е. $S_\lambda = I_e/\Phi_\lambda$ (в А/Вт).

Квантовый выход фотокатода Y_λ - отношение числа электронов, эмиттируемых фотокатодом N_e при облучении его монохроматическим лучистым потоком с энергией квантов u к числу квантов в этом потоке N_u , т.е. $Y_\lambda = N_e/N_u$ в электронах/квант (иногда эту величину выражают в %).

Спектральная чувствительность S_λ и квантовый выход фотокатода Y_λ связаны соотношением $Y_\lambda = (1,236 \cdot 10^3) \cdot (S_\lambda/\lambda)$, где S_λ в А/Вт, а λ в нм.

Спектральные характеристики фотокатодов не имеют границы со стороны коротких волн, но для реальных приборов они ограничены коротковолновым пределом оптической прозрачности материала входного окна фотоэмиттера. Красная граница спектральной характеристики фотокатода λ_0 определяется порогом фотоэффекта материала и зависит от его энергетической структуры и состояния поверхности (таблица, рис. 2). Эта граница может немного смещаться в зависимости от деталей технологического процесса изготовления фотокатода или при изменении внешних условий [2, 3–5].

Материалы фотокатодов и их входных окон

Обозначение	Материал фотокатода	Материал входного окна
1	GaAs (арсенид галлия)	Боросиликатное стекло
2	Улучшенный красный GaAsP (галлия арсенид-фосфид)	Боросиликатное стекло
3	GaAsP (галлия арсенид-фосфид)	Боросиликатное стекло
4	InGaAs (индий галлий арсенид)	Боросиликатное стекло
5	Щелочной	Синтетический диоксид кремния
6	Улучшенный красный щелочной	Синтетический диоксид кремния
7	Віalkali (сурьмяно-рубидий цезия Sb-Rb-Cs, сурьма-калий-цезий Sb-K-Cs)	Синтетический диоксид кремния
8	Теллурид цезия	Синтетический диоксид кремния

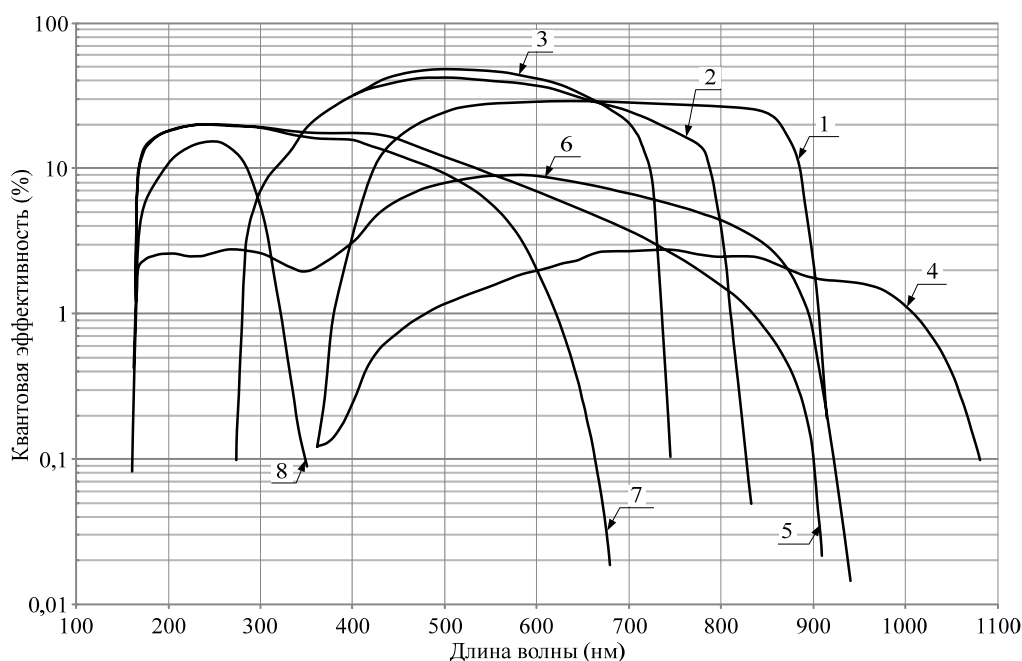


Рис. 2. Зависимость квантовой эффективности фотокатодов от длины волны

На границе фотокатода и вакуума существует потенциальный барьер. Для электронов в зоне проводимости полупроводника высота этого барьера определяется величиной электронного средства, т.е. разностью энергий между дном зоны проводимости и вакуумом.

Таким образом, по степени электронного средства фотокатоды ЭОП можно подразделить на фотокатоды с отрицательным электронным средством (ОЭС) и неотрицательным электронным средством (многощелочные фотокатоды) [6, 7].

Фотокатоды отличаются уровнем квантовой эффективности для разных спектров излучения, кривые чувствительности ограничиваются, с одной стороны, возможностью пропускания коротких волн материалом входного окна, с другой стороны – красной границей.

Для большинства ЭОП область спектральной чувствительности фотокатодов не ограничивается каким-то одним диапазоном излучения, зачастую в нее входят части соседних областей излучения.

Таким образом, фотокатоды можно подразделить на области спектральной чувствительности.

- фотокатоды для работы в видимой и ближней ИК-области спектра;
- фотокатоды для работы в видимой и ближней УФ-области спектра;
- фотокатоды для работы в ультрафиолетовой области спектра;
- фотокатоды для работы в ближней УФ-, видимой и ближней ИК-области спектра.

Для видимого и ближнего ИК-диапазонов спектра наиболее распространенным фотоэмиттером является многощелочной фотокаатод. Разработка новых фотоэлектронных приборов для регистрации или преобразования оптического излучения выдвигает требование высокой чувствительности фотокатодов. По этому параметру многощелочной фотокаатод уступает лишь фотокаатодам с ОЭС на основе соединений $A^{III}-B^V$ и кремния.

Успешными оказались работы по увеличению ИК-чувствительности фотокатодов путем введения в активный слой GaAs 10–15%-й добавки индия и создания тройного соединения InGaAs. В результате ЭОП с данным фотокаатодом назвали: «Extended Near IR» (продленный в ближнюю ИК-область) - сокращенно ENIR. На длине волны 1064 нм чувствительность составляет 0,025–0,35·10⁻³ А/Вт (квантовый выход 0,003–0,04% соответственно), что несколько меньше чувствительности многощелочного фотокаатода на этой длине волны (порядка 0,7·10⁻³ А/Вт). Однако более низкий темновой ток (около 5·10⁻¹⁴ А/см²) и значительно более высокая интегральная чувствительность делают новый катод перспективным для работы в приборах ночного видения.

Большинство типов фотокатодов, применяемых для видимой части спектра, работоспособны и в ультрафиолетовой. Энергия ультрафиолетового кванта больше, чем видимого. Диапазон же длин волн, воспринимаемых фотоприбором, ограничивается полосой пропускания входного окна.

Особую группу среди фотокатодов представляют солнечно-слепые фотокатоды, воспринимающие ультрафиолетовое излучение, но не чувствительные к излучению Солнца. Такие фотокатоды позволяют исследовать ультрафиолетовое излучение при наличии мощного фонового излучения Солнца. Конечно, в качестве солнечно-слепых фотокатодов можно было бы применять металлы, но они имеют малый квантовый выход, в частности из-за высокого отражения.

Солнечно-слепой фотокаатод для наземных применений не должен воспринимать излучение длиннее 350 нм. Применяются соответственно KBr (граница 150 нм), CsJ (граница 180 нм), Cs₂Te или Rb₂Te (граница 280 нм). Квантовый выход достигает 10% и более в области 110–140 нм (KBr, CsJ) и 140–240 нм (Cs₂Te, Rb₂Te). Все эти катоды имеют большое сопротивление и при исполнении «на прострел» должны иметь тонкую проводящую подложку (Cr, W).

С точки зрения задачи регистрации сигналов УФ-излучения на фоне солнечной засветки главными недостатками известных фотокатодов являются их невысокая чувствительность в рабочем диапазоне и недостаточно крутой спад чувствительности за пределами требуемой рабочей зоны. Так, например, бищелочной фотокаатод имеет длинноволновую границу чувствительности около 650 нм, т.е. сдвинутую почти на 300 нм от требуемого рабочего диапазона. Поэтому естественным было стремление разработать для УФ-диапазона фотокатоды на основе эмиттеров с (ОЭС) из элементов группы $A^{III}-B^V$ по аналогии с известными фотокаатодами GaAs(Cs) и GaAsP(Cs), разработанными для видимого спектра. Отличительной особенностью этих фотокатодов наряду с высокой чувствительностью является резкий спад границы чувствительности в длинноволновой области: спад чувствительности в 10–100 раз от чувствительности, составляющей 70% максимальной, происходит при изменении длины волны излучения примерно на 40–100 нм, тогда как у многощелочного фотокаатода это составляет более 200–300 нм [6, 8, 9].

Для получения более полной информации об объекте наблюдения следует добавить возможность регистрации спектра и в УФ-диапазоне. Существуют фотокатоды, которые позволяют охватить видимый спектр излучения и часть УФ- и ИК-излучений. К сожалению, они обладают меньшей спектральной чувствительностью в «первом окне прозрачности», чем фотокатоды на основе элементов группы $A^{III}-B^V$.

На сегодняшний момент производством фотокатодов на основе соединений $A^{III}-B^V$ занимаются несколько фирм в мире, две из них находятся в России: «Кагод» (Новосибирск) и «Геофизика-НВ» (Москва).

Анализ полученных результатов показал, что:

1. В настоящее время фотокатоды на основе соединений $A^{III}-B^V$ являются наиболее перспективными для применения в ЭОП, они имеют более высокую чувствительность, позволяют создавать на своей основе солнечно-слепые фотокатоды.

2. ЭОП с фотокатодом с ОЭС на основе GaAs имеет высокую чувствительность (более $2 \cdot 10^{-3}$ А/лм), равномерную характеристику, резкие спады на концах рабочего диапазона, квантовый выход до 30% и малую термоэмиссию ($10-16$ А/см²).

3. Применение фотокатодов, имеющих длинноволновую границу, значительно сдвинутую от регистрируемого УФ-диапазона, оказывается нежелательным, поскольку при этом возрастает критичность к фоновым излучениям, а также растут темновые токи.

Литература

1. Волков В.Г. Светодиодные излучатели для приборов ночного видения // Полупроводниковая светотехника. – 2011. - № 3. – С. 49-54.

2. IMAGE INTENSIFIER. HAMAMATSU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://jp.hamamatsu.com/resources/products/etd/pdf/II_ТП0004Е02.pdf, свободный (дата обращения: 24.05.2010).

3. Соболева Н.А. Фотоэлектронные приборы / Н.А Соболева, А.Г. Берковский, Н.О. Чечик, Р.Е. Елисеев; под ред. Д.В. Зернова. - М.: Наука, 1965. – 592 с.

4. Фотокатоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nvd.su/photocathode.php>, свободный (дата обращения: 20.09.2010).

5. Берковский А.Г. Вакуумные фотоэлектронные приборы / А.Г Берковский, В.А. Гаванин, И.Н. Зайдель. – 2-е. изд. - М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.

6. Ашкинази Л.А. Материалы электронных эмиттеров: учеб. пособие. - М., 2007. – 67 с.

7. Шефова И.А. Оптические и фотоэмиссионные свойства многощелочного фотокатода: автореф. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.04. - М., 1991. – 17 с.

8. Бегучев В.П. Электронно-оптические преобразователи. Состояние и тенденции развития / В.П. Бегучев А.М. Филачев, А.Л. Чапкевич // Прикладная физика. – 1999. - № 2. – С. 132–139.

9. Новые фотокатоды УФ- и ИК-диапазонов для перспективных фотоприемных устройств / М.Р. Айнбунд, И.С. Васильев, Е.Г. Вилькин и др. // Прикладная физика. – 2006. - № 4. – С. 97–101.

Бухаров Павел Васильевич

Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУРа

Тел.: 8 (383-2) 44-33-71

Эл. почта: pbuharov@gmail.com

Buharov P.V.

Photocathodes of modern image intensifier

The article describes the variety of types and features of modern photocathodes for image intensifier (II). We consider the main parameters, classification capabilities of registration of the emission spectrum.

Keywords: image intensifier, photocathode, electron affinity, emission spectrum.