

Фотоэлектроника

УДК 621.382.002

Разработка GaAs фотокатода для электронно-оптического преобразователя со спектральной характеристикой, продвинутой до $\lambda = 0,36$ мкм

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

Е. В. Граца, А. Д. Дуб
ФГУП «Производственное объединение "Север"», г. Новосибирск, Россия

Определены особенности конструкции фотокатодных гетероэпитаксиальных структур, позволяющие сдвинуть "синюю" границу спектральной характеристики фотокатодов в коротковолновую область спектра. Структуры, выращенные с толщиной буферного слоя ~ 100 Å, позволили сдвинуть спектральную характеристику до 0,36 мкм при сохранении величины интегральной чувствительности на уровне 1600–1800 мкА/лм.

Оптимально сконструированный A_3B_5 -фотокатод по сравнению с классическим мультищелочным фотокатодом имеет от 2 до 10 раз большую квантовую эффективность и более равномерную во всем спектральном диапазоне fotocувствительность. Длинноволновая граница fotocувствительности такого фотокатода определяется шириной запрещенной зоны полупроводникового материала, а коротковолновая — прозрачностью в этой области спектра материала стеклянного окна—основания фотокатодного узла, просветляющего покрытия, и "оконного" слоя эпитаксиальной гетероструктуры.

ОАО "Катод" выпускает электронно-оптические преобразователи (ЭОП) 3-го поколения с фотокатодами на основе GaAs в спектральном диапазоне 0,55–0,9 мкм с типичной квантовой эффективностью $Q \sim 35\%$ и интегральной чувствительностью $S_{\text{int}} = 1800$ мкА/лм. Спектральная чувствительность типичного фотокатода приведена на рис. 1. "Оконный" слой в фотокатодной гетероструктуре выполнен из твердого раствора $Al_{0,55}Ga_{0,45}As$ толщиной 1 мкм.

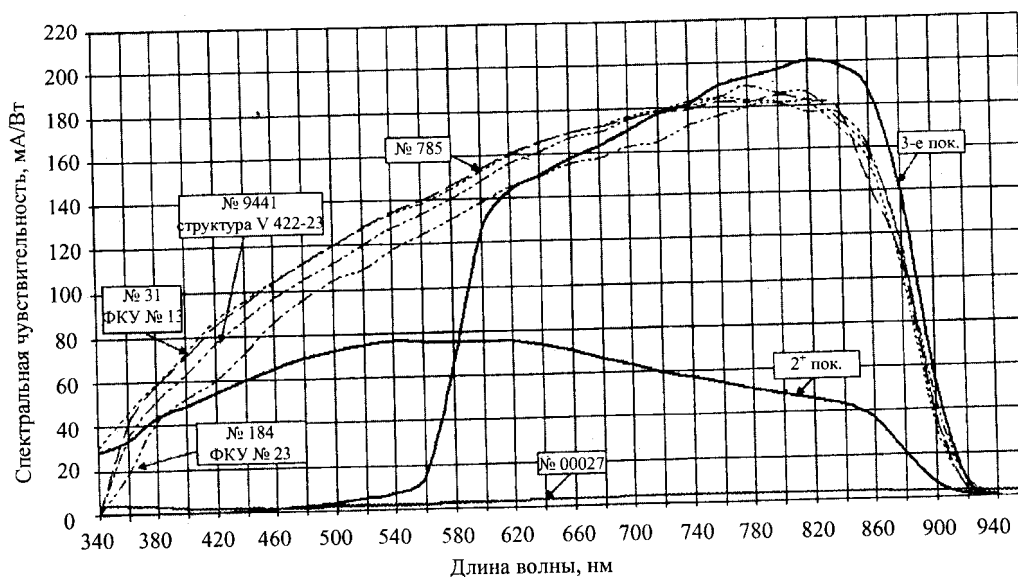


Рис. 1. Спектральная характеристика серийного фотокатода ЭОП 3-го поколения в сравнении со спектральными характеристиками фотокатодов 2-го поколения и экспериментальными фотокатодами

Для ряда научных и телевизионных применений (микроскопия, научные исследования в широком спектре), создания систем с дистанционным управлением, подводных наблюдений, создания многоспектральных систем, которые будут давать лучшие изображения, чем нынешние однополосные, требуются ЭОП с "коротковолновой" границей fotocувствительности, продвинутой до 0,3 мкм. Ведущие зарубежные фирмы-изготовители давно ведут разработку фотокатодов на основе GaAs с чувствительностью, продвинутой в "синюю" область спектра. В 2002 г. фирма ITT Industries сообщила о достижении квантовой эффективности 20 % на длине волны 350 нм и 35 % — на длине волны 400 нм, коротковолновая граница чувствительности составила 250 нм [1]. Для получения чувствительности в коротковолновой области спектра конструкция для лучшего пропускания коротковолнового света предусматривает тонкий оконный слой AlGaAs.

Предложенная конструкция имеет недостаток, связанный с тем, что слои толщиной порядка 100 Å не обеспечивают достаточной устойчивости к возможным механическим и химическим травмирующим воздействиям, которым структура может подвергнуться в технологическом процессе изготовления фотокатодного узла ЭОП. Для устранения этого недостатка авторами предложена конструкция "оконного" слоя значительно большей толщины (800—3000 Å) с градиентным составом. Максимальное содержание алюминия, которое может быть выбрано для оконного слоя с постоянным составом, определяется требованиями химической устойчивости к неконтролируемому окислению. По данным [2], возникают значительные проблемы с удалением оксида с поверхности слоя $Al_{0,8}Ga_{0,2}As$, поэтому мы выбрали практически максимальный состав $Al_{0,7}Ga_{0,3}As$.

Рассмотрены возможные варианты конструкции "оконного" слоя эпитаксиальной гетероструктуры для получения максимальной чувствительности в области спектра 400—500 нм, для чего проведен расчет спектра пропускания слоя твердого раствора AlGaAs в зависимости от толщины и профиля состава. Оптические свойства рассчитывались по параметрической модели [3]. Сделаны также расчеты квантового выхода, учитывающие зависимость диффузионной длины носителей от состава слоя при отсутствии рекомбинации на границах. На основании расчетов были выбраны профиль состава и толщина "оконного" слоя.

Для выращивания гетероструктур с выбранной конструкцией "оконного" слоя применен современный метод МОС-гидридной эпитаксии, обеспечивающий воспроизводимость и однородность от процесса к процессу по составу и толщине.

Разработана технология роста гетероструктуры выбранной конструкции. Рост проводился на автоматизированном управляемом от компьюте-

ра технологическом комплексе "Discovery-75" фирмы Emcore (США), оснащенном встроенным спектроскопическим эллисометром M-44 фирмы J. A. Woollam (США) для in-situ контроля. В качестве реагентов использовали триметилалюминий, триметилгаллий, диметилцинк и 100%-ный арсин, в качестве газа-носителя — водород, в качестве подложек — подложки GaAs:Si "epi-ready" диаметром 50,8 мм. Ростовые условия (давление в реакторе 53 Торр, температура подложкодержателя 700 °С, частота вращения подложкодержателя 1400 об/мин, поток газа-носителя 11 л/мин, отношение V/III = 60, скорость роста 6 Å/с) были выбраны оптимальными для получения однородных по площади подложки и высококачественных слоев AlGaAs во всем диапазоне составов. Режимы легирования эпитаксиальных слоев выбирались на основе результатов измерения методом Холла тестовых структур, выращенных на полуизолирующих подложках. Подбор условий для получения указанных слоев с заданным содержанием алюминия проводили по результатам рентгеновской дифрактометрии и эллисометрии.

Для получения сравнительных экспериментальных данных были выращены гетероструктуры с различными толщиной и составом "оконного" слоя. Из них были изготовлены фотокатодные узлы для ЭОП на основе имеющейся стандартной технологии. На рис. 2 приведены измеренные спектральные зависимости fotocувствительности фотокатодов. Из рис. 1 видно, что фотокатоды с толщиной градиентного слоя около 1000 Å обеспечивают на длине волны 0,46 мкм спектральную чувствительность 103 мА/Вт. На рис. 3 приведена зависимость квантового выхода от длины волны прибора с этой структурой. Видно, что "синюю" границу на длине волны 0,36 мкм удалось продвинуть до уровня 30 % от максимального значения квантовой эффективности.

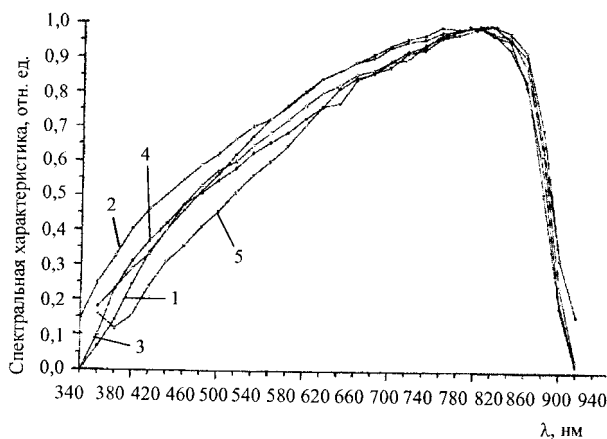


Рис. 2. Спектральные зависимости fotocувствительности фотокатодов с различной толщиной и профилем состава "оконного" слоя:

- 1 — $Al_{0,55}Ga_{0,45}As$ толщиной 100 Å; 2 — $Al_{0,55}Ga_{0,45}As$ толщиной 150 Å; 3 — $Al_{0,7}Ga_{0,3}As$ толщиной 100 Å + 0,1 мкм градиентный слой; 4 — $Al_{0,7}Ga_{0,3}As$ толщиной 100 Å + 0,15 мкм градиентный слой; 5 — $Al_{0,55}Ga_{0,45}As$ толщиной 100 Å + 0,3 мкм градиентный слой

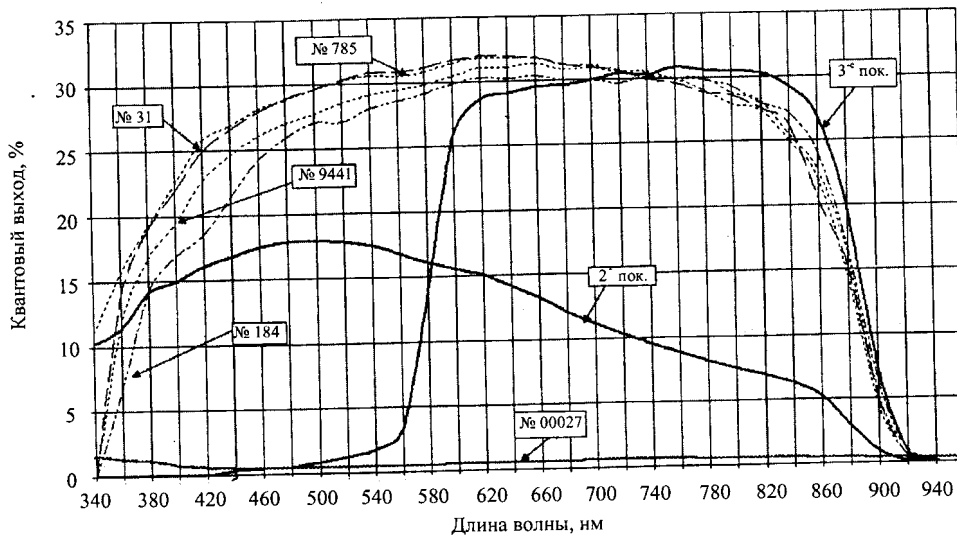


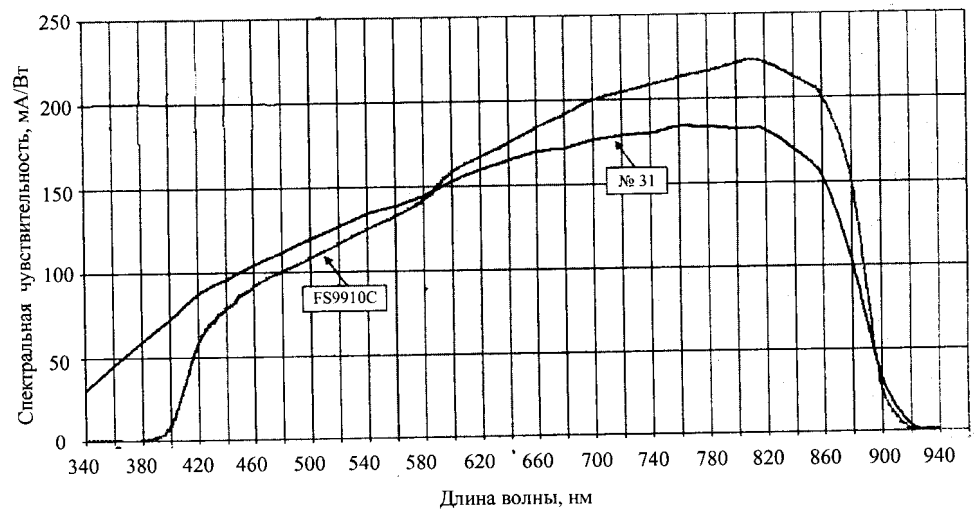
Рис. 3. Зависимость квантового выхода прибора с оконным слоем $Al_{0,55}Ga_{0,45}As$ толщиной 100 Å и различной толщиной градиентного слоя от длины волны

Из полученных результатов следует, что конструкция "оконного" слоя $Al_{0,7}Ga_{0,3}As$ толщиной 100 Å и градиентным слоем толщиной от 0,1 до 0,15 мкм позволяет расширить коротковолновую границу фоточувствительности ЭОП в "синюю" область спектра без существенного снижения технологичности изготовления фотокатодного узла.

На рис. 4 приведены спектральные характеристики разработанных фотокатодов и фотокатодов фирмы ИТТ.

На базе разработанных ГЭС изготовлены ЭОП с параметрами фотокатода $\Phi_{int} \approx 1800$ мкА/лм, $\Phi_{\lambda 460} = 100 - 130$ мА/Вт.

Рис. 4. Сравнительные спектральные характеристики фотокатодов ОАО "Катод" и фирмы ИТТ



Литература

1. Smith A., Passmore K., Sillmon R., Benz R. Transmission mode photocathodes covering the spectral range, 3rd Beane Conference//New Developments in Photodetection, June 17-21, 2002.
2. Aspnes D. E., Kelso S. M., Logan R. A., Bhat R. Optical properties of $Al_xGa_{1-x}As$ //J. Appl. Phys. 1986. V. 60. P. 754-767

3. Kim C. C., Garland J. W., Raccach P. M. Modeling the optical dielectric function of the alloy system $Al_xGa_{1-x}As$ //Physical Review B. 1993. V. 47. № 4. P. 1876-1888.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Development of GaAs photocathode for image intensifiers tube with spectral response extended to $\lambda = 0,36 \mu\text{m}$

V. I. Sakhno, A. V. Dolgikh
Joint Stock Company "Katod", Novosibirsk, Russia

E. V. Gratca, A. D. Dub
Manufacturing association "Sever", Novosibirsk, Russia

Peculiarities of photocathode heterostructures design which allowed to shift "blue" boundary of photocathode spectral response to short-wave region of spectra are determined. The structures, been grown with "buffer" layer with thickness $\sim 100 \text{ \AA}$ allow to shift spectral response to $0.36 \mu\text{m}$ at integral sensitivity value on level 1600—1800 $\mu\text{A/lm}$.

УДК 621.382.002

Разработка научно-технических основ и создание технологии получения многощелочных фотокатодов в сверхвысоковакуумных камерах индивидуально-групповым способом

В. И. Локтионов, И. А. Нестеров
ОАО "Катод", г. Новосибирск, Россия

Разработана научно-обоснованная концепция изготовления многощелочных фотокатодов в сверхвысоковакуумных (СВВ) камерах, на базе которой из стандартного промышленного оборудования для сборки ЭОП 2⁺-го поколения, используемого в ОАО "Катод", была создана перспективная установка "переноса" для сборки ЭОП 2⁺-го поколения с использованием многощелочных фотокатодов, сформированных в СВВ-камерах.

Изготовление многощелочных фотокатодов типа S25 для ЭОП 2⁺-го поколения осуществляется в России на откачных постах в специальных баллонах — контейнерах при вакууме $P = 10^{-6} - 10^{-7}$ Торр.

Такая технология несет в себе много проблем, связанных, помимо изготовления самого фотокатода, с изготовлением специального баллона, т. е. контейнера. Так как последний изготавливается из стекла, то это влечет за собой все проблемы стекольного производства: высокое энергопотребление, большая доля ручного труда, нестабильность технологического процесса. Сам процесс получения многощелочного фотокатода в контейнере достаточно сложен, мало управляем, что связано с технологическими особенностями формирования данного типа фотокатодов и с необходимостью жесткого соблюдения постоянства внутриконтейнерных конфигураций, точной дозировкой щелочных металлов, точным поддержанием температурных режимов. У разных операторов, работающих на подобных откачных постах, различные результаты активиро-

вок и различный процент выхода годных изделий, причем это различие может составлять до 50 %, что свидетельствует о необходимости учета индивидуального стереотипа работников.

Способ формирования фотокатодов в СВВ-камерах лишен недостатков, связанных с изготовлением самого контейнера, что значительно удешевляет стоимость фотокатодного узла (ФКУ), а значит и самого прибора в целом. В СВВ-камере установлены источники щелочных металлов, носитель ФКУ карусельного типа, печи для технологического прогрева ФКУ, смонтирована измерительная схема для измерения величины фототока в процессе активировки фотокатода, установлены смотровые окна для контроля за процессом формирования фоточувствительных слоев, подведен торированный световой поток. СВВ-камера пристыкована через вакуумный затвор к камере сборки ЭОП, а ФКУ поступает в СВВ-камеру через вакуумный затвор из камеры термического обезгаживания ФКУ. Преимущество данного метода в том, что процессы, происходящие при активировке ФКУ,