

УДК 621.315.592

А. А. Егоренков, В. И. Зубков, А. В. Соломонов
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Д. Е. Миронов, А. В. Пашук, М. Р. Айнбунд
 АО «ЦНИИ „Электрон“», Санкт-Петербург

Гибридный матричный фотоприемник для ИК-области спектра

Рассмотрены конструкция и принцип работы гетероструктурного InP/InGaAs/InP-фото катода в фотоэлектронном приборе для ближнего ИК-диапазона. Представлены результаты оптимизации гибридного фотоприемника для области спектра 0.95...1.65 мкм на основе данной гетероструктуры с твердым раствором состава In_{0.53}Ga_{0.47}As. Повышение уровня вакуума в камере запрессовки и увеличение толщины слоя InGaAs – поглотителя излучения – позволило поднять квантовый выход с 5 до 12 %. Описаны физические механизмы, приводящие к снижению квантового выхода фотокатода. Измерена скорость деградации квантового выхода для трех гибридных приборов. Проанализированы и предложены методы, позволяющие снизить скорость деградации чувствительности фотокатода. Измеренная спектральная чувствительность разработанного гибридного прибора в 20 раз превышает чувствительность лучших твердотельных матричных ИК-фотоприемников.

ИК-фотоприемник, гибридный прибор, фотокатод, квантовый выход, сверхвысокий вакуум

В настоящее время существует широкое разнообразие фотоприемных устройств, построенных на основе разных физических принципов и предназначенных для различных применений в разных диапазонах электромагнитного спектра [1], [2]. Наиболее активно развивается направление твердотельных полупроводниковых фотоприемников. Для них существует достаточно хорошо отработанная и экономичная массовая технология, а сами они обладают приемлемыми потребительскими характеристиками. В то же время существуют довольно важные ниши специальных применений, где требуются экстремальные приборные характеристики (в первую очередь чувствительность к сверхслабому излучению, особенно в ИК-области), которые недоступны твердотельным фотоприемникам. Такую задачу решает особый класс фотоприемных устройств, построенных по гибридно-вакуумно-полупроводниковому принципу.

Гибридный прибор конструктивно представляет собой герметично откачанный корпус с прозрачным для излучения входным окном, внутри

которого расположены чувствительный к излучению фотокатод и регистрирующий полезный сигнал узел – полупроводниковый анод, рис. 1 (символом e^- обозначены фотоэлектроны). Фотокатод представляет собой тонкий слой чувствительного к излучению полупроводника. Фотокатод работает на просвет и в режиме внешнего фотоэффекта генерирует в вакуумный промежуток пучок фотоэлектронов, плотность которого пропорциональна интенсивности регистрируемого света. В вакуумном промежутке между фотокатодом и анодом

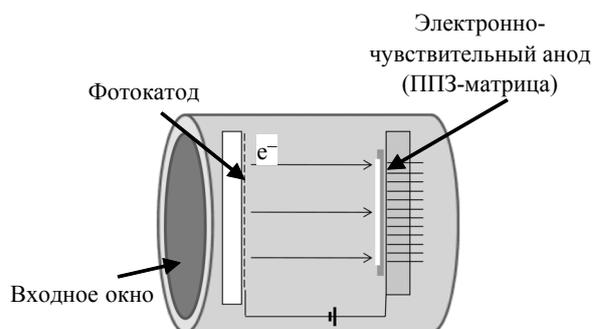


Рис. 1

приложено ускоряющее фотоэлектроны поле, что обеспечивает большое усиление прибора, а наличие вакуума обеспечивает эффективную развязку входных и выходных электрических цепей.

Особенность такого фотокатода состоит в необходимости нанесения с эмиттерной стороны ультратонкого поверхностного слоя (фактически монослоя) оксида цезия. Его наличие обеспечивает кардинальное снижение работы выхода поверхности фотокатода и, соответственно, высокую интенсивность эмиссии фотоэлектронов в вакуум. Известно, однако, что Cs – чрезвычайно активный элемент и мгновенно окисляется на воздухе. Поэтому его нанесение на полупроводниковую структуру фотокатода и все последующие операции, в том числе запрессовка элементов в корпус, необходимо проводить в камере, обладающей сверхвысоким вакуумом. Работы по изготовлению гибридного прибора с данным ИК-фотокатодом мы проводили в специально созданной многокамерной вакуумной установке.

Описание вакуумной установки. Вакуумная установка позволяет герметизировать фотокатод в корпусе прибора без существенной деградации его чувствительности. Повышение в установке степени вакуума улучшает стабильность чувствительности фотокатодов во времени и позволяет увеличить их квантовый выход. Исходя из этого, нами разработана и реализована схема четырехкамерной установки. Она состоит из камеры за-

грузки, сверхвысоковакуумной камеры предварительной очистки деталей (достигаемое давление 10^{-8} Па) и двух сверхвысоковакуумных камер активировки цезием и запрессовки с вакуумом на уровне $10^{-9} \dots 10^{-10}$ Па. Поддержание вакуума в камерах запрессовки и активировки на уровне лучше 10^{-9} Па облегчается наличием дополнительной камеры, в которой производится предварительная термическая очистка узлов перед переносом их в сверхвысоковакуумные камеры. Камера предварительной очистки собрана на базе штатных компонентов фирмы «Riber». В ней поддерживается вакуум на уровне 10^{-8} Па.

Для улучшения вакуума в сверхвысоковакуумных камерах активировки и запрессовки использованы нераспыляемые геттерные насосы (НГН). Разработка конструкции и изготовление НГН произведены силами лаборатории ЦНИИ «Электрон». Расчетная суммарная скорость откачки камеры активировки – 1000 л/с. Для камеры запрессовки геттеры нагреваются излучением галогенной лампы мощностью 2 кВт. Расчетная скорость откачки насоса – также ~ 1000 л/с.

Расчет параметров гетероструктуры фотокатода. Следующим этапом становится оптимизация структуры полупроводниковой фотокатода для обеспечения высокого квантового выхода фотоприемника. Применяемая в данной работе двойная гетероструктура InP/InGaAs/InP обеспе-

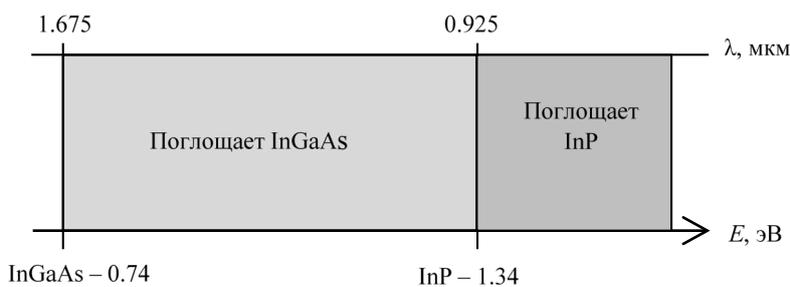


Рис. 2

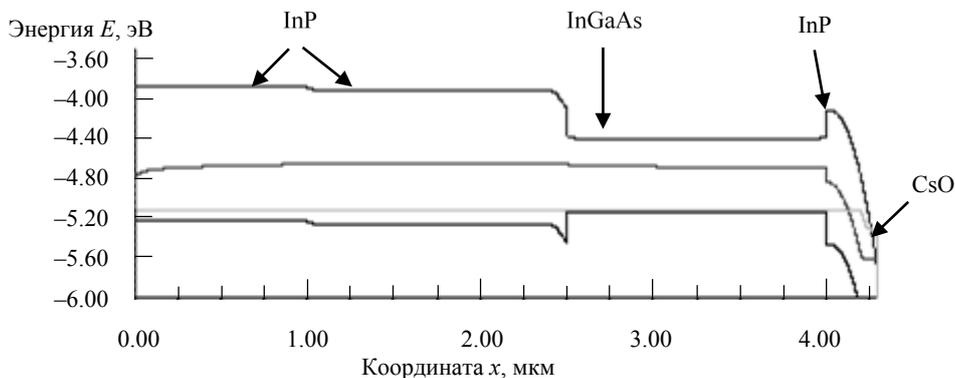


Рис. 3

чивает детектирование излучения в диапазоне 0.95...1.65 мкм (на рис. 2: λ – длина волны, E – энергия). В роли поглотителя инфракрасного излучения выступает полупроводниковый твердый раствор $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$. При работе такого фотокатода «на просвет» подложка фосфида индия играет роль оптического фильтра, обрезая излучение с длиной волны λ менее 0.9 мкм. Энергетическая диаграмма гетероструктуры $\text{InP}/\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ с нанесенным слоем цезия, рассчитанная в программе SimWin, изображена на рис. 3.

Прямозонный $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ имеет при комнатной температуре ширину запрещенной зоны 0.74 эВ [3], что соответствует красной границе фотоэффекта 1.675 мкм. Это близко к длине волны 1.55 мкм, соответствующей минимуму затухания в кварцевом оптическом волокне. Кроме того, данный твердый раствор обладает постоянной решеткой, совпадающей с постоянной решетки бинарного InP , и поэтому получил широкое распространение в оптоэлектронике.

Поглощающий слой $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ должен иметь низкую концентрацию свободных электронов в отсутствие облучения для снижения темнового тока, т. е. должен быть полупроводником p -типа. Слой InP , эмитирующий фотоэлектроны в вакуум, также должен быть полупроводником p -типа. Для того чтобы приложить электрическое смещение на границу раздела этих двух слоев, между ними необходимо наличие барьера для дырок. С этой целью в конструкции нашего фотокатода используется система металл–полупроводник, формирующая барьер Шотки.

Для снижения работы выхода электронов с поверхности фотокатода в вакуумный промежуток применяется активировка поверхности тонким слоем CsO . Сравнительно малая ширина запрещенной зоны (1.34 эВ) и степень легирования эмиттерного слоя InP (не более 10^{18} см^{-3}) не позволяет достичь состояния отрицательного электронного сродства (ОЭС) в прямом смысле, но все равно позволяет снизить энергетический уровень вакуума до значения порядка 1 эВ.

Принцип работы такого фотокатода показан на рис. 4 (V_{bias} – смещение). Инфракрасное излучение, проходя через прозрачную для него подложку InP , поглощается в слое InGaAs . Генерируемые светом фотоэлектроны перемещаются из валентной зоны в зону проводимости, где, «остывая», переходят в минимум Γ -долины. Затем эти

электроны диффузионно двигаются в эмиттерный слой InP , который обедняется подвижными носителями заряда благодаря приложенному к поверхности положительному потенциалу. Напряженность электрического поля в эмиттерном слое имеет значение более 10^4 В/см , но еще не достигает значений напряженности поля пробоя ($10^5 \dots 10^6 \text{ В/см}$). При таких полях электроны Γ -минимума зоны проводимости в InP получают энергию, достаточную для перехода в более высоколежащие долины, и рассеиваются в них. Прямозонная L -долина InP находится на 0.53 эВ выше минимума Γ -долины зоны проводимости. У поверхности дно этой долины располагается примерно на 1 эВ выше уровня Ферми барьера Шотки ($\text{Ti}/p\text{-InP}$), при этом значение самого барьера – 0.8 эВ. Электроны из верхней долины InP , таким образом, могут выходить в вакуум с поверхности InP , активированной системой CsO .

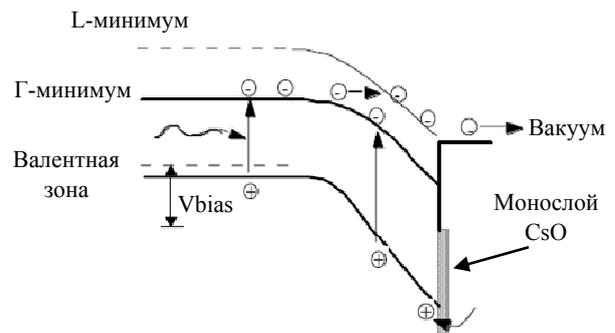


Рис. 4

На рис. 5 (координата x – это расстояние от поверхности вглубь гетероструктуры) представлен результат численного расчета скорости генерации $G_{\text{опт}}$ носителей заряда гетероструктурой $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ с геометрией, как на рис. 3, под действием излучения с длиной волны 1.55 мкм и мощностью 10 мВт/см^2 . Видно, что оно поглощается только слоем твердого раствора. Однако при исходной выбранной для фотокатода толщине слоя $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, равной 1.5 мкм, поглощается не все падающее излучение. Следовательно, целесообразно увеличить толщину слоя поглотителя примерно до 4.5 мкм, как это показано на рис. 6. Заметим при этом, что показатель поглощения света структурой зависит от длины волны. Так, излучение той же мощности с $\lambda = 1.0 \text{ мкм}$ будет поглощаться почти полностью уже на глубине 1.5 мкм (рис. 7). Поэтому при выборе оптимальной толщины поглотителя, работающего в заданном диапазоне длин волн, должен существовать некий

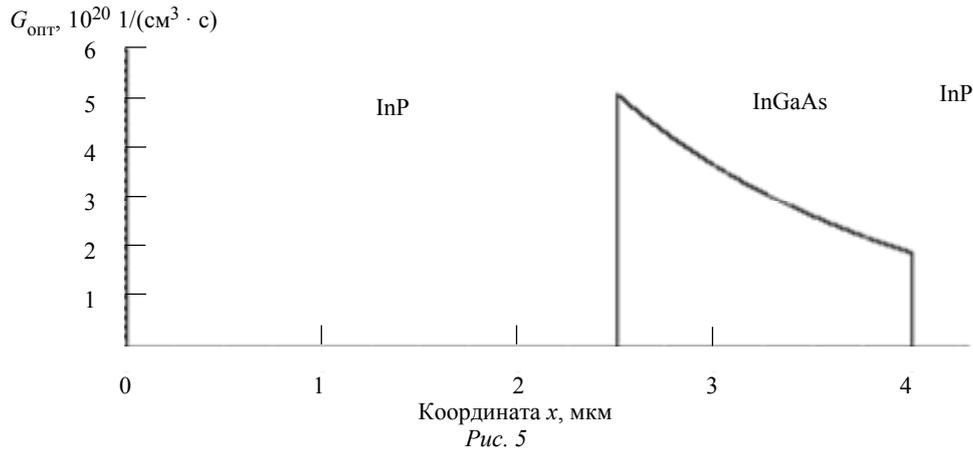


Рис. 5

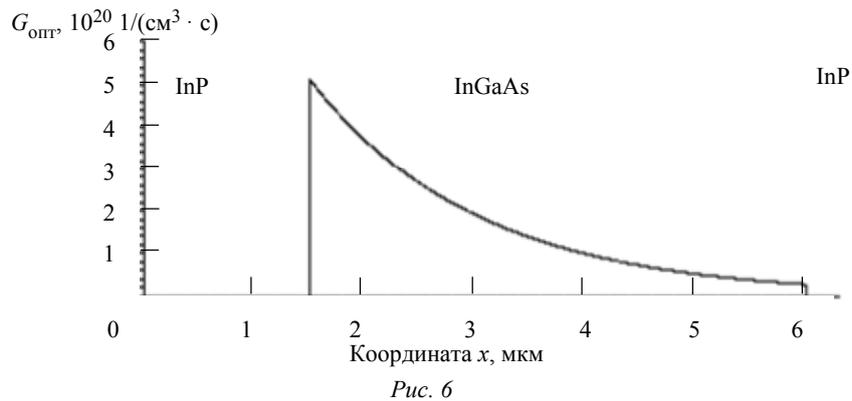


Рис. 6

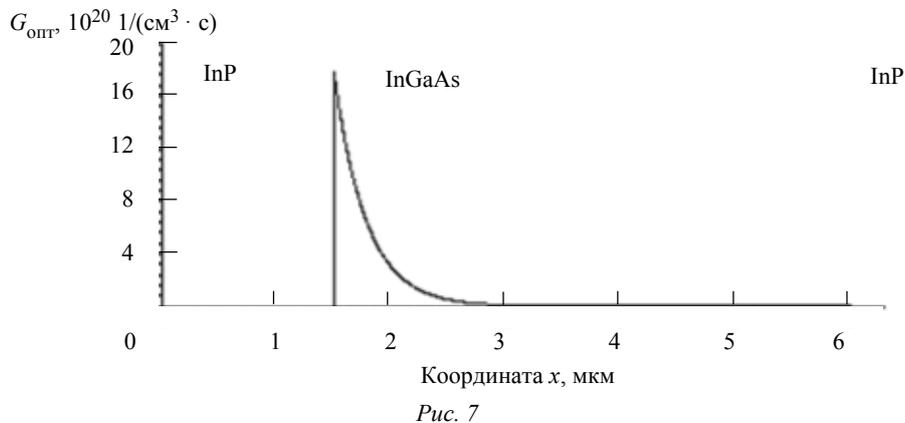


Рис. 7

компромисс, опирающийся на условия эксплуатации фотоприемного устройства. Ожидаемым результатом служит, очевидно, независимость результатов расчета степени поглощения излучения от толщины подложки InP, поскольку этот материал при низкой концентрации примеси прозрачен для излучения данного диапазона.

Оптимизация структуры полупроводникового фотокатода. По результатам проведенных расчетов был предложен усовершенствованный дизайн двойной гетероструктуры ИК-фотокатода с толщиной слоя твердого раствора $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, равной 3.0 мкм. Рост гетероструктуры выполнен методом MOCVD в АО «НИИ «Полус»». После нанесения

«очувствляющего» слоя CsO нами были проведены измерения основных параметров как самого фотокатода в вакуумной камере, так и готового вакуумно-полупроводникового фотоэлектронного устройства, запрессованного в герметичный корпус. В этом случае в качестве анода была применена кремниевая матрица прибора с переносом заряда (ППЗ), работающая в электронно-чувствительном режиме [4]. Тогда фотоэлектроны поглощаются стороной матрицы ППЗ, противоположной считывающим ячейкам, и переносятся к ним по диффузионно-дрейфовому механизму.

Проведенная оптимизация толщины слоев гетероструктуры и концентрации примеси в них

помогла поднять квантовый выход фотоприемника с 5 до 12 %. Все образцы обладают высокой чувствительностью в заданном диапазоне 0.95...0.65 мкм. Отметим, что достигнутый на текущий момент квантовый выход ниже, чем квантовый выход ИК-фотокатодов в гибридных приборах фирмы «Intevac», составляющий более 25 % [5]. В то же время, благодаря усилению сигнала фотоэлектронов в матрице ППЗ спектральная чувствительность на выходе разработанного гибридного прибора почти в 20 раз превышает чувствительность матричного ИК-фотоприемника компании «Sensors Unlimited» – лидера в сегменте твердотельных фотоприборов [6].

Электрические и фотоэлектрические параметры разработанного гибридного матричного ИК-фотоприемника АО «ЦНИИ „Электрон“» в сравнении с аналогичным прибором фирмы «Intevac» (USA) и твердотельным ИК-прибором компании «Sensors Unlimited» (USA) приведены в таблице.

Исследование деградации квантового выхода InGaAs/InP фотокатодов во времени. Одна из важнейших проблем данного ИК-фотокатода – это деградация свойств активирующего слоя во времени, которая возникает из-за постепенного снижения уровня вакуума в фотоприемнике.

В [7], посвященной изучению нанесенного на поверхность *p*-InP слоя CsO, сообщается, что снижение квантового выхода такой структуры возникает из-за перестройки исходного пероксида цезия Cs₂O₂ в его супероксид CsO₂ (рис. 8), что снижает общий дипольный момент системы, и последующего окисления поверхности InP.

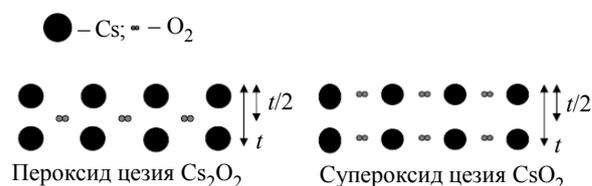


Рис. 8

Приведенные в [7] сравнительные зависимости фототока активированного InP-фотокатода $QE(t)$ от времени и уровня вакуума наглядно показывают, насколько сильно влияет начальный уровень $QE(t)$ на срок жизни такого фотокатода (рис. 9: 1 – $2 \cdot 10^{-10}$ торр, 2 – $8 \cdot 10^{-10}$ торр).

Из рис. 9 видно, что при снижении уровня вакуума в 4 раза время, за которое фотоэмиссионный ток снизится на порядок, также уменьшится в 4 раза.

Наименование параметра (режим измерения)	Компания		
	ЦНИИ «Электрон», эксперимент. макет (вакуумный)	«Intevac», Camera LIVAR M506 (вакуумный) [5]	«Sensors Unlimited», Camera GA1280JSX (твердотельный) [6]
Размер изображения, мм	12.9 × 9.8	8.6 × 6.9	16.0 × 12.8
Число элементов матрицы	760 × 580 (электронно-чувствительная ППЗ)	640 × 512 (ЭЧ КМОП)	1280 × 1024 (InGaAs)
Размер пикселя, мкм	34 × 17	13.4 × 13.4	12.5
Диапазон спектральной чувствительности, мкм	0.95...1.65	0.95...1.65	0.9...1.7
Квантовый выход, %	~12 ($\lambda = 1.55$ мкм) фотокатод	≥ 25 ($\lambda = 1.55$ мкм) фотокатод	≥ 65 внутренний фотоэффект
Условия освещения	лазерная подсветка $\lambda = 1.55$ мкм	лазерная подсветка $\lambda = 1.55$ мкм	от слабого ночного до дневного света
Средняя удельная обнаружительная способность, Вт ⁻¹ ·Гц ^{1/2} ·см	–	–	$2.9 \cdot 10^{13}$
Разрешающая способность при рабочей облученности, твл	≥ 250	240	–
Шум RMS, $\lambda = 1.55$ мкм			35 электронов
Напряжение на фотокатоде (относительно ЭЧ ППЗ), кВ	2...5	~2	–
Коэффициент усиления	100	~100	1
Спектральная чувствительность прибора, А/Вт	15	≥ 30	≥ 0.82

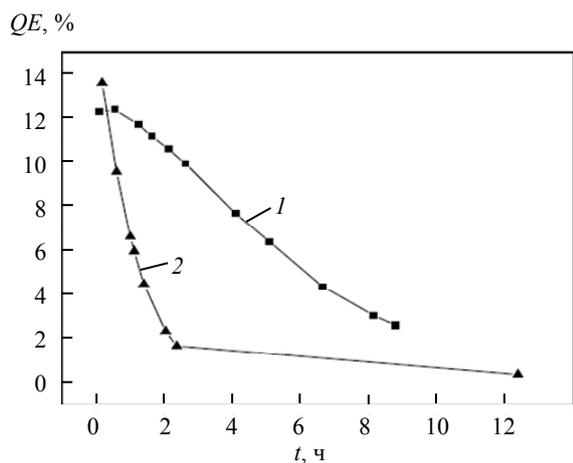


Рис. 9

В соответствии с задачей исследования необходимо было обеспечить неизменность условий эксперимента в течение длительного времени. Наибольшее влияние на фототок ИК-фотокатодов оказывают напряжение его смещения $U_{см}$, облученность и геометрия измерений. Для достижения постоянства вышеназванных параметров была разработана и создана установка, представляющая собой «черный ящик» с размещенной в отдельном отсеке внутри него лампой накаливания. Для создания монохроматического излучения использовался интерференционный фильтр на $\lambda = 1.06$ мкм. Излучение от лампы, проходя через отверстие в стенке отсека, к которому был плотно прижат интерференционный фильтр, создавало на входном окне прибора равномерную по площади облученность в зоне спектральной чувствительности ИК-фотокатада. Плотность светового потока на

длине волны 1.06 мкм была определена при помощи эталонного фотоэлемента и составила $2 \cdot 10^{-7}$ Вт/см². На фотокатод прибора помимо $U_{см}$ подавалось напряжение $U_{фк} = -1$ кВ относительно анода. Фототок измерялся в анодной цепи под нулевым потенциалом, погрешность измерения тока составляла 5 пА.

В перерывах между измерениями все приборы хранились в одинаковых условиях в затемненном месте в азотной среде при комнатной температуре. Результаты измерений значений квантового выхода трех приборов из серии 10 испытуемых приведены на рис. 10.

Графики на рис. 10 показывают, что прибор № 8 имеет высокую скорость деградации квантового выхода в первые 100 сут. Квантовый выход приборов № 5 и 6 не измерялся в период до 100 сут в условиях «черного ящика». Для приборов № 5 и 6 скорость падения чувствительности в период более 100 сут составила около 0.12 %/сут.

В [8], посвященной деградации чувствительности ОЭС фотокатодов на эпитаксиальных монокристаллах GaAs, показано, что основные факторы, влияющие на снижение их чувствительности, – это уровень вакуума и, особенно, парциальное давление молекул O₂ и молекул, имеющих в составе кислород: CO, CO₂ и, вероятно, H₂O. При этом зарегистрированная скорость падения чувствительности GaAs ОЭС фотокатада в вакууме $1.5 \cdot 10^{-9}$ Па в течении 20 сут составляла около 0.34 %/сут, рис. 11.

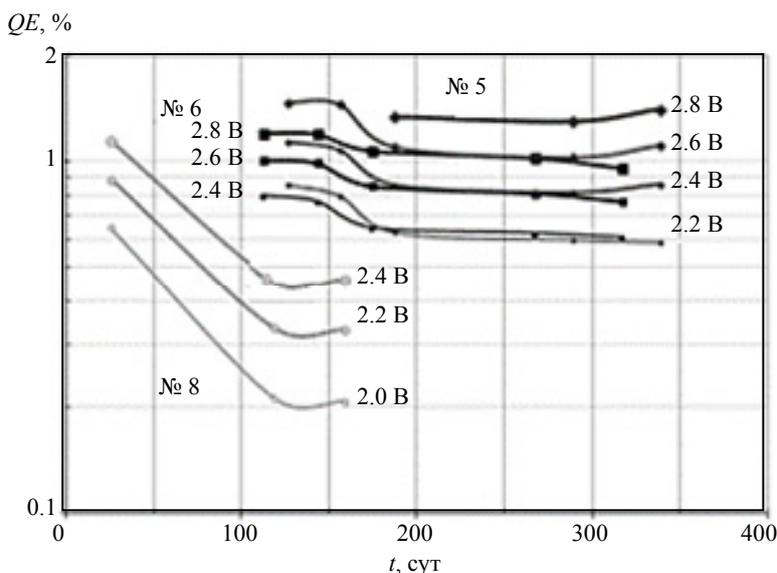


Рис. 10

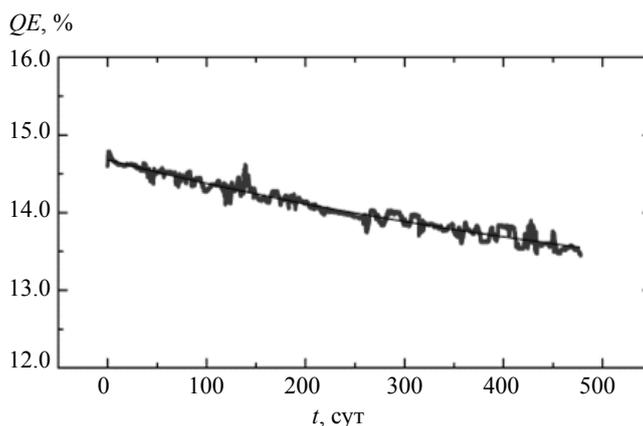


Рис. 11

Зависимость квантового выхода от времени может быть описана формулой

$$QE(t) = QE_0 e^{-t/\tau},$$

где τ – время, за которое квантовый выход QE фотокатода снизится в e раз; QE_0 – начальный квантовый выход.

Расчет по этой формуле для ОЭС фотокатода на GaAs дает время жизни $\tau = 6500$ ч, или 270 сут. Аналогичный расчет для приборов № 5 и 6 для всего времени измерений дает времена жизни 750 и 780 сут соответственно. По аналогичным оценкам, времена жизни каждого из приборов достигают более 5 лет. Увеличение чувствительности прибора № 5 в интервале 280...340 сут, возможно, связано с изменением ВАХ фотокатода в результате приложения большого $U_{см}$ при проведении импульсных исследований.

Традиционный прием увеличения времени работы фотоэмиссионных приборов – достижение в них более глубокого вакуума. Стекло, используемое для изготовления корпусов приборов, – один из лучших вакуумных материалов. Однако вкрапления частиц графита, которые впекаются в поверхность стекла из графитовых форм, помимо ухудшения электроизоляционных свойств, предположительно, ухудшают уровень вакуума внутри прибора. При подаче на фотокатод высокого напряжения может происходить дополнительное выделение газов из частиц графита из-за стимулирования их высоковольтными токами утечки. В ходе проведенных исследований нами разработаны технологические приемы изготовления корпусов и методы их химической очистки, существенно уменьшающие вкрапления графита. Конструктивно желательно уменьшить внутреннюю поверхность прибора и увеличить сорбционную поверхность геттера. Технологиче-

ски необходим достаточно длительный (более 15 ч) предварительный прогрев корпуса прибора при высокой температуре (до 400 °С) в высоком вакууме. Для изготовления приборов № 5, 6 и 8 использовался более щадящий режим прогрева корпусов и входных окон при температуре, не превышающей 320 °С, в течение 10 ч, ввиду того что высокая температура может ухудшить параметры анодного узла, сформированного из чувствительной к фотоэлектронам ППЗ-матрицы.

Определенный ресурс по увеличению времени жизни ИК-фотокатодов дает подача на него большего напряжения смещения $U_{см}$. Как видно из рис. 10, повышение $U_{см}$ на 0,4 В приводит почти к удвоению квантового выхода и таким образом может в какой-то степени компенсировать падение чувствительности. Однако данный ресурс ограничен, так как одновременно с увеличением квантового выхода растет и темновой ток ИК-фотокатода, который складывается из темнового тока термогенерированных электронов в слое InGaAs и генерированных посредством ударной ионизации электронов в InP. Если первая компонента темнового тока слабо зависит от $U_{см}$, то вторая испытывает сильную зависимость от напряженности электрического поля и на определенном этапе увеличения $U_{см}$ начинает значительно превосходить полезный сигнал.

В статье рассмотрены конструкция и принцип работы гетероструктурного InP/InGaAs/InP-фотокатода в гибридном приборе для ближнего ИК-диапазона. Представлены результаты оптимизации гибридного фотоприемника для области спектра 0,95...1,65 мкм на основе данной гетероструктуры с твердым раствором состава $In_{0,53}Ga_{0,47}As$. Повышение уровня вакуума в камере запрессовки и увеличение толщины слоя InGaAs позволило

поднять квантовый выход прибора с 5 до 12 %. Описаны механизмы, приводящие к снижению квантового выхода фотокатода. Измерена скорость деградации квантового выхода для трех гибридных приборов. Приведены методы, позволяющие снизить скорость деградации чувствительности фотокатода. Продемонстрировано, что измеренная спектральная чувствительность разработанного гибридного прибора в 20 раз превышает чувствительность лучших твердотельных матричных ИК-фотоприемников.

На завершающем этапе исследований проанализирована и обеспечена работоспособность прибора в условиях различных внешних воздействующих факторов: диапазон рабочих температур, синусоидальная вибрация, механический удар одиночного и многократного действия и др.

В заключение добавим, что большинство фотокатодов имеют определенный ресурс по времени жизни, связанный с количеством протекающего через них заряда, поэтому статический режим работы для них не оптимален. В связи с этим в настоящий момент проводится серия экспериментов с работой в различных импульсных режимах. Благодаря импульсному включению фотокатода можно продлить его ресурс, связанный с количеством протекающего заряда, на 2–3 порядка. К тому же это открывает возможность подавать большее напряжение смещения без риска быстрой деградации чувствительности фотокатода. По предварительной оценке, данный подход позволит увеличить квантовый выход в 2–3 раза относительно предела в статическом режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физические основы полупроводниковой фотоэлектроники / А. В. Войцеховский, И. И. Ижнин, В. П. Савчин, Н. М. Вакив // Томск: Изд. дом ТГУ, 2013.
2. Пономаренко В. П. Квантовая фотосенсорика. М.: АО «НПО Орион», 2018.
3. Optical and crystallographic properties and impurity incorporation of GAXIN1-XASGoetz / D. Bimberg, H. Jurgensen, J. Selders, A. V. Solomonov, G. F. Glinskii, M. Razeghi // J. of Applied Physics. 1983. Vol. 54, № 8. P. 4543–4552.
4. Айнбунд М. Р., Миронов Д. Е., Зубков В. И. Гибридные фотоэлектронные приборы // Успехи прикладной физики, 2018. Т. 6, № 5. С. 401–408.
5. Intevac Photonics. URL: https://www.intevac.com/wp-content/uploads/2018/08/PDS0005_rD-LIVAR-M506-Gated-SWIR-Camera-System.pdf (дата обращения 12.01.21).
6. Sensors Unlimited. URL: <http://www.sensorsinc.com/products/detail/mini-swir-jsx-snapshot-camera-60-fps> (дата обращения 14.01.21).
7. InP transferred electron cathodes: Basic to manufacturing methods / P. Pianetta, D. Lee, Y. Sun, Z. Liu, W. E. Spicer // Grant №DAAD19-02-1-0396, Final Report. Stanford University, 2007. URL: https://www.researchgate.net/publication/235128420_InP_Transferred_Electron_Cathodes_Basic_to_Manufacturing_Methods (дата обращения 15.01.21).
8. The degradation of quantum efficiency in negative electron affinity GaAs photocathodes under gas exposure / N. Chanlek, J. D. Herbert, R. M. Jones, L. B. Jones, K. J. Middleman, B. L. Militsyn // J. of Physics D: Applied Physics. 2014. Vol. 47, № 5. P. 1–7.

A. A. Egorenkov, V. I. Zubkov, A. V. Solomonov
Saint Petersburg Electrotechnical University

D. E. Mironov, A. V. Pashuk, M. R. Ainbund
JSC «NRI „Electron“», Saint Petersburg

HYBRID MATRIX PHOTODETECTOR FOR INFRARED SPECTRAL RANGE

The design and operating principle of heterostructure InP/InGaAs/InP photocathode in a photoelectric device for the near-IR range are considered. The results of optimization of hybrid photodetector for spectral range 0.95–1.65 μm based on this heterostructure with solid solution In_{0.53}Ga_{0.47}As are presented. An increase the vacuum level in the pressing chamber and an increase the thickness of the InGaAs layer – the radiation absorber – made it possible to enhance the quantum yield from 5 to 12 %. The mechanisms leading to the quantum efficiency decay of the photocathode are being studied. The rate of the quantum efficiency degradation of the photocathode is measured for three hybrid devices. Methods to reduce the degradation rate of the photocathode sensitivity are analyzed and suggested. The measured spectral sensitivity of the developed hybrid device is 20 times greater than the sensitivity of the best solid-state array IR photodetectors.

IR-photosensor, hybrid device, photocathode, quantum efficiency, UH vacuum