

«УМНИК» – 2021

Разработка конструкции унифицированных чипов для многоэлементных и многоцветных средневолновых фотонных инфракрасных приемников и излучателей.

«Н4. Новые приборы и интеллектуальные производственные технологии»



Автор:

Кунков Роман Эдуардович

Научный руководитель:

Ременный Максим Анатольевич

Лаборатория:

Инфракрасной оптоэлектроники

Проблематика

Отсутствует коммерческое предложение инфракрасных фотоприемников, работающих в средневолновой и длинноволновой областях спектра (3-5 мкм, 8-12 мкм), отвечающих запросам потребителей на многоспектральность, многоэлементность и чувствительность по цене, пригодной для использования в продукции широкого/гражданского потребления

Фотоприемники на основе материалов КРТ

<https://vigo.com.pl>



Недостатки:

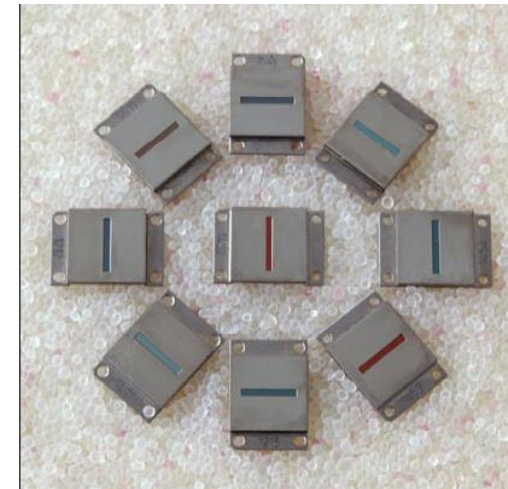
1. Высокая цена (>500 тыс. руб./шт.)
2. Зарубежное производство

Пироэлектрические фотоприемники

www.heimannsensor.com

Недостатки:

1. Низкая чувствительность
2. Низкое быстродействие
3. Зарубежное производство



Фотоприемники на основе материалов InAs, InAsSb

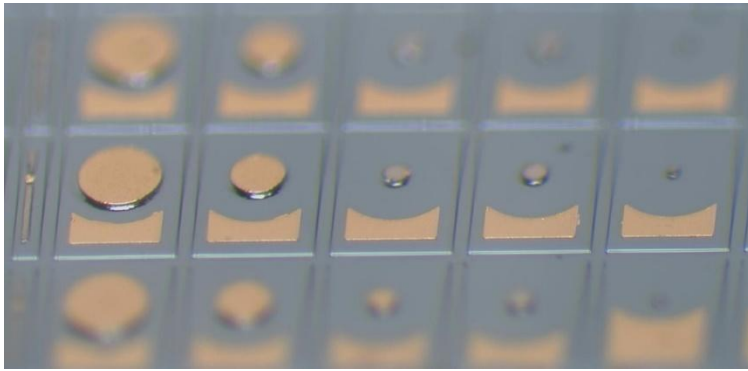
Российские малые компании: ООО "АИБИ" (IBSG Co., Ltd.), ООО «ЛЕД Микросенсор НТ»

Недостатки:

1. Низкая чувствительность;
2. Малый ассортимент (как по длине волны, так и по типоразмерам)

Решение

Уже реализованные
одноэлементные
фотоприемники:

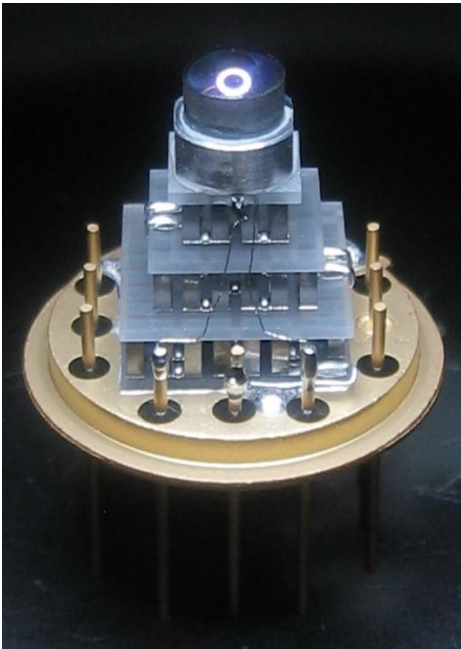


Структура после литографии

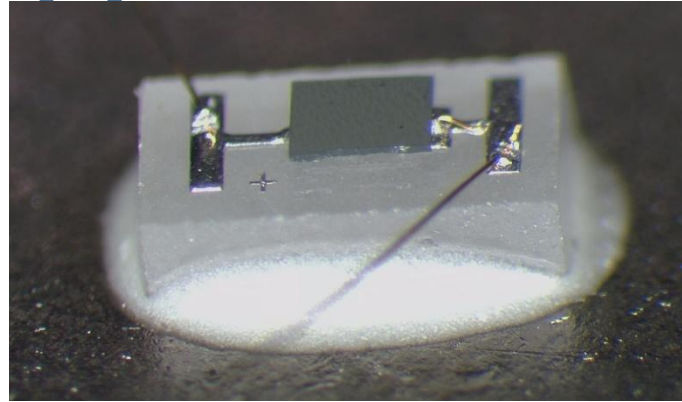
Разработка конструкции унифицированных чипов для многоэлементных/многоцветных инфракрасных фотоприемников и излучателей на основе диодных гетроструктур из твердых растворов арсенида индия, обеспечивающей:

1. Высокий фактор заполнения активной/фоточувствительной областью, как в самом чипе, так и многоэлементной конструкции, состоящей из нескольких чипов;
2. Возможность электрической коммутации пространственно разнесенных чипов;
3. Механическую прочность и деградационную стойкость разрабатываемых элементов;
4. Широкий рабочий диапазон температур;
5. Экономическую эффективность выбранных конструктивных решений, обеспечивающую возможность создания и использования многоэлементных и многоцветных средневолновых фотонных инфракрасных приемников и излучателей в продукции широкого потребления.

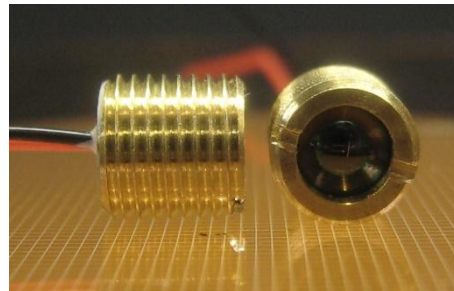
(в)



(а)

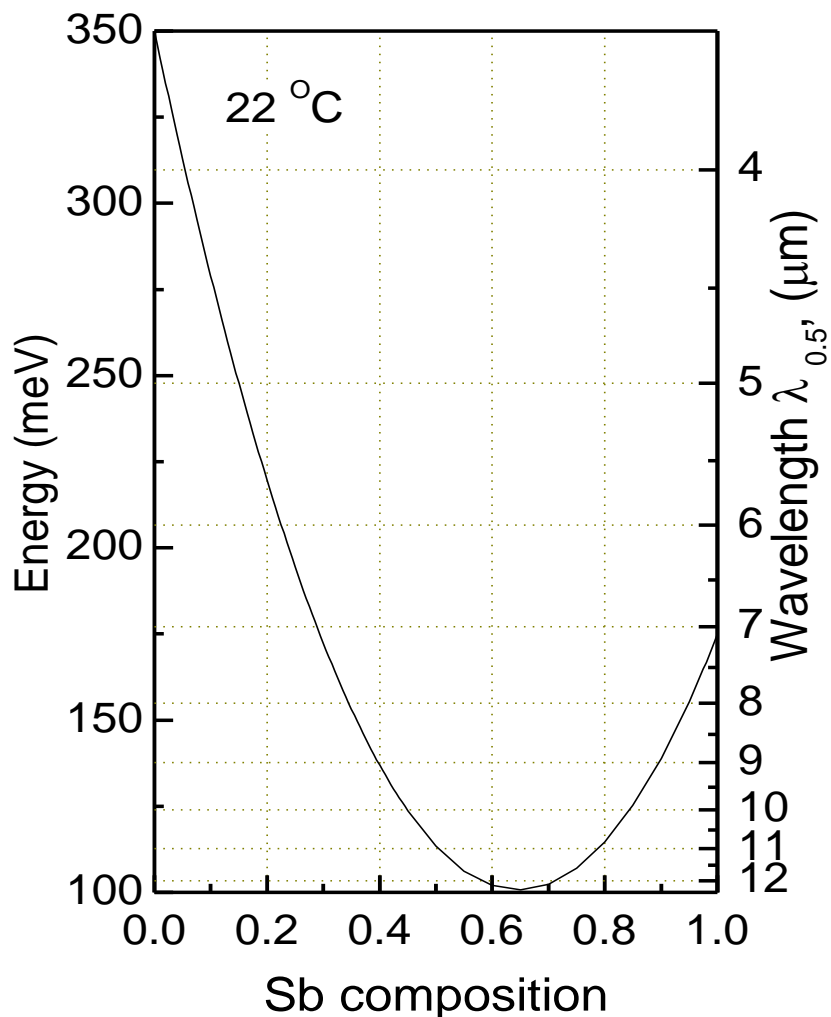


(б)



Чип на подкристальной плате (а); ФД с иммерсионной линзой в цилиндрическом корпусе (б) и на 3-х каскадном элементе Пельтье (в)

Научная новизна



Ширина запрещенной зоны и длинноволновая граница от состава твердого раствора InAsSb

Впервые предлагается разработать конструкцию унифицированного чипа, которая позволит создавать многофункциональные инфракрасные приемники и излучатели по принципу «Lego» - из унифицированных чипов, удобных для монтажа в микросборные многоэлементные и многоцветные конструкции:

Для реализации многоэлементных и многоцветных фотоприемников будут использованы уникальные свойства гетроструктур на основе твердых растворов InAsSb, позволяющие создавать диодные фотоприемники и излучатели, работающие в средней ИК области спектра в интервале температур от криогенных до повышенных.

Научный задел



Общество с
ограниченной
ответственностью
«ИОФФЕЛЕД»

194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая д.28,
тел. +7911 229-4360,
e-mail: Mremennyu@mail.ioffe.ru

По месту требования

Информационное письмо

Настоящим письмом, подтверждается, что Кунков Р.Э. является исполнителем в проекте ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» (лот № 2018-14-000-0001) по теме: «Разработка фоточувствительных элементов большой размерности для спектральных областей 2.5-3.5; 2.5-4.5; 2.5-5.5 мкм на основе диодных гетероструктур из InAs и твердых растворов InAsSbP» (шифр заявки «2018-14-000-0001-429»), уникальный идентификатор проекта RFMEFI57618X0104, выполняемом в ООО «ИоффеЛЕД».

Коллектив ООО «ИоффеЛЕД» имеет более чем пятнадцатилетний опыт разработки и создания полупроводниковых фотоприемников на основе материалов InAsSb (<http://www.ioffeled.com>). За время своей работы в коллективе, автор успел принять активное участие в проектах и публикациях, связанных с тематикой проекта, а также обсуждение полученных результатов на специализированных научных конференциях, в частности, участие в конференции "XXI Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике" в 2019 году с докладом "Двухспектральные "флип-чип" фотоприемники на основе ГС P-InAsSbP/n-InAsSb/P-InAsSbP/n-InAs ($\lambda_{\max}=3.3, 4.0$ мкм 300 К)"

Календарный план на 2 года

Первый год: Разработка конструкции чипа и создание экспериментальных образцов

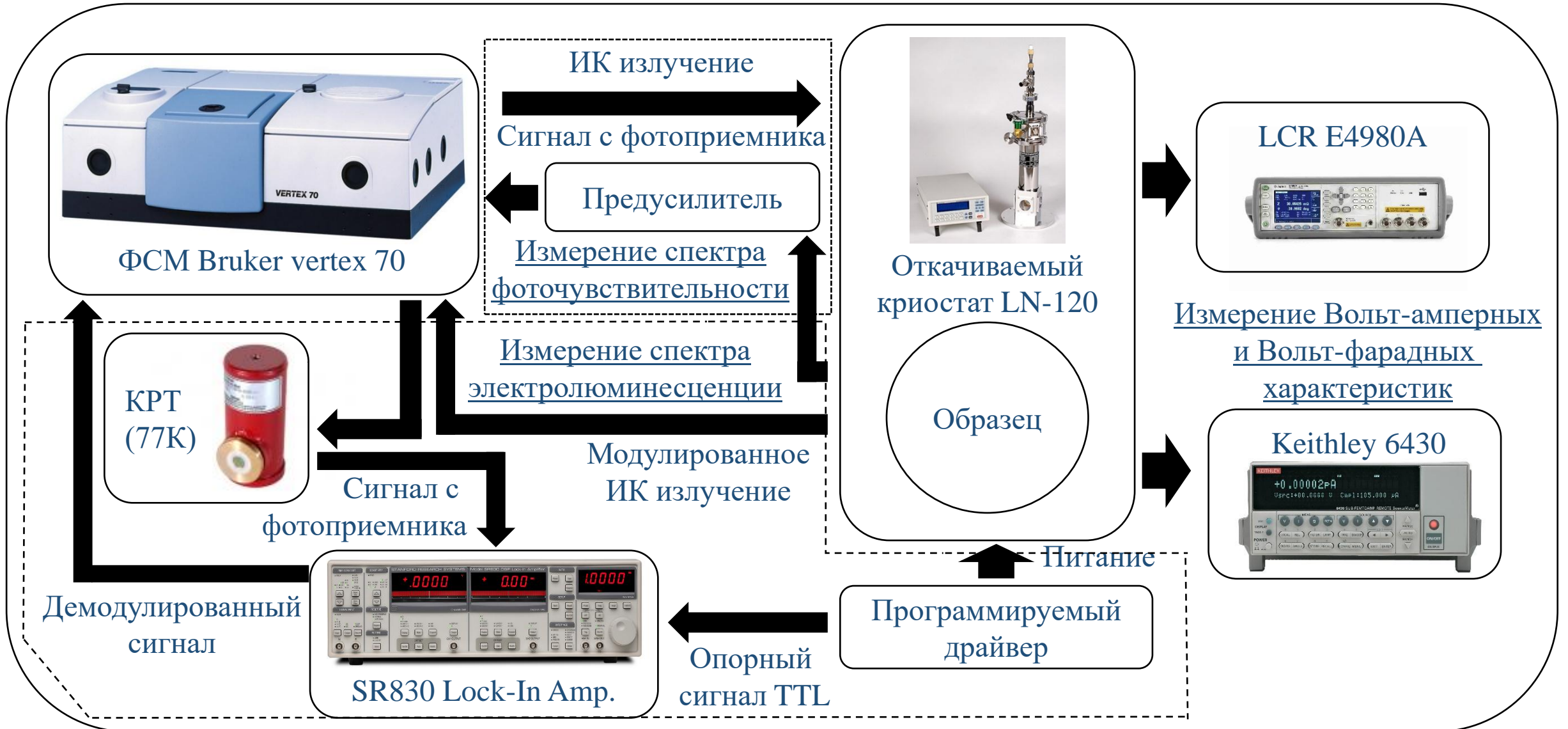
- 1) Разработка конструкции унифицированных чипов для многоэлементных и многоцветных средневолновых фотонных инфракрасных приемников и излучателей;
- 2) Разработка фотошаблонов для изготовления унифицированных чипов;
- 3) Изготовление экспериментальных образцов унифицированных чипов для многоэлементных и многоцветных средневолновых фотонных инфракрасных приемников и излучателей;
- 4) Разработка и изготовление подкристальных плат для монтажа чипов.
- 5) Исследование механической прочности и проведение деградационных испытаний экспериментальных образцов.

Второй год: Исследование оптических и фотоэлектрических свойств экспериментальных образцов

- 1) Исследование фотоэлектрических свойств экспериментальных образцов чипов для многоэлементных и многоцветных фотоприемников в диапазоне длин волн 2-6 мкм и интервале температур 77-400 К;
- 2) Исследование люминесцентных свойств экспериментальных образцов чипов для многоэлементных и многоцветных светодиодов в диапазоне длин волн 2-6 мкм и интервале температур 77-400 К;
- 3) Исследование пространственного распределения фоточувствительности и электролюминесценции (картины ближнего и дальнего поля) экспериментальных образцов;
- 4) Выбор и рекомендации к использованию наиболее эффективной конфигурации экспериментальных образцов.

Материальное обеспечение – 1

(Установка для исследования фотоэлектрических и люминесцентных свойств.)



Материальное обеспечение – 2

(Доступные производственные мощности.)

Ростовые технологии

- Ростовые эпитаксиальные установки для выращивания гетероструктур на основе твердых растворов $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$
- Вакуумное оборудование
- Оборудование для очистки водорода

Постростовые технологии

- Установки для нанесения фоторезиста и задубливания;
- Установки для совмещения и экспонирования (АМК2104.11)
- Шкафы вытяжные и сушильные
- Установка финишной очистки деионизированной воды Millpore
- Посты вакуумные универсальные (ВУП-5)

Сборка и корпусирование

- Процесс корпусирования, включающий: монтаж чипа фоточувствительного элемента на подкристальную плату, монтаж платы на выбранный корпус – который предполагает использование следующего оборудования:
- ультразвуковая ванна серии M-Range;
 - установка импульсной сварки «Контакт-3А»;
 - установка микроконтактной сварки расщепленным электродом УС.ИММ-2М;
 - микроскоп МСП2-вар.2.

Ожидаемые научные результаты

Разработанная конструкция унифицированных чипов для многоэлементных и многоцветных средневолновых фотонных инфракрасных приемников и излучателей должна обеспечивать:

- Возможность применения конструкции для создания фотоприемников и излучателей, отличающихся по составам и толщинам эпитаксиальных слоев, с помощью стандартных методов фотолитографии;
- Высокий фактор заполнения, сопоставимый с таковым у монокристаллических матричных фотоприемников и возможность индивидуальной адресации «пикселей», как в самом чипе, так и конструкции, состоящей из нескольких чипов;
- Механическую прочность, обеспечивающую широкий диапазон температур использования и корпусирования (77-473 К);
- Взаимозаменяемость чипов, отличающихся по составам и толщинам эпитаксиальных слоев;
- Параметры чувствительности и квантовой эффективности, сопоставимые с параметрами одиночных фотоприемников для соответствующих длин волн (согласно данным ООО «ИоффеЛЕД», <http://www.ioffeled.com>).

Конкурентные преимущества

- Разработка универсальной конструкции чипа совместно с современными методиками сборки и корпусирования позволит создавать многоэлементные и/или многоцветные фотоприемники по требованиям заказчика к спектральным и пространственным характеристикам по принципу «Lego».
- Благодаря уменьшению площади одного чипа ожидается увеличение выхода годных чипов с единицы площади пластины
- Унификация и упрощение процедур по сборке и корпусированию фотоприемника
- Уникальные свойства твердых растворов InAsSb позволяют создавать фотоприемники с параметрами, не уступающими или даже превышающими параметры лучших коммерчески доступных образцов при стоимости в 5-10 раз ниже.

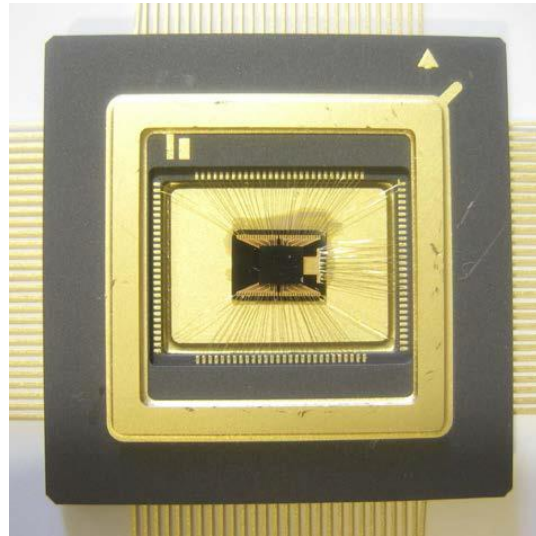
Коммерциализация

Планируется продажа лицензии на использование конструктивных решений компаниям, которые будут использовать разработанные чипы в составе своей продукции (ООО «ИоффелеД», ООО «Лирасенс», АО ЦНИИ «Электрон») или организация малого инновационного предприятия.

Матричные многоэлементные и/или многоспектральные источники и приемники средневолнового ИК излучения

Характерная особенность: монолитная сборка отдельных фоточувствительных или излучающих элементов, собранных в требуемой геометрии и отличающихся длиной волны

Внешний вид: могут быть собраны на стандартных многовыводных корпусах



Оптические газовые сенсоры для детектирования углекислого и природного газов

Характерная особенность: монолитная сборка излучающей и детектирующей системы с опорным каналом



Двух- (трех) спектральные иммерсионные фотоприемники/излучатели

Характерная особенность: монолитная сборка чипов измерительного и опорных каналов, собранных под одной линзой



Публикации

- «Room temperature mid-IR two-color photodiodes with InAs and InAs_{0.9}Sb_{0.1} absorbing layers», Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1697(1), 012180
- «Substrate-removed flip-chip photodiode array based on InAsSbP/InAs double heterostructure», Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1410(1), 012028
- «Photoelectric properties of heterostructures based on InAsSb_x solid solutions (0.3 x 0.35)», 2020, 1695(1), 012077
- «Long-wave infrared InAs_{0.6}Sb_{0.4} photodiodes grown onto n-InAs substrates», 2021, 1851(1), 012019

Спасибо за внимание!

Кунков Роман

+7 (967) 536-23-56

romunkov@yandex.ru