

Uncooled Detector for the 1.8–2.4 μm wave band

T. V. Andreeva, V. V. Gawrushko, S. G. Kuzukov, Y. N. Proschkin,
A. A. Sapozhnikov, A. A. Sapozhnikov, A. M. Zchuprakov, A. A. Shlensky
Novgorod State University, V. Novgorod, Russia

The object of this report is the presentation results on creation of hight-effective uncooled detector on hard semiconductor solutions $In_xGa_{1-x}As_ySb_{1-y}$ base. Photosensitive structures was produced with the liquid-phase epitaxy on n-GaSb. On the long-wavelenght cutoff of the epitaxial layer was reached 2.4 μm. There were received following results of main parameters of worked out detector on room temperature (as the emission source was used black body 800 K): integrated voltage sensitivity $S_V=3\cdot10^4$ V/W, specific detectivity $D^ = 9\cdot10^8$ W⁻¹·cm·Hz^{1/2}.*

УДК 621.5

Современные достижения и мировые тенденции развития микрокриогенных систем для фотоприемных устройств

А. В. Громов, В. М. Ермаков, В. И. Карагусов, М. В. Липин, В. И. Ляпин
ООО «НТК "Криогенная техника"», г. Омск, Россия

Представлены современные достижения и мировые тенденции развития микрокриогенных систем для фотоприемных устройств. Дано описание результатов разработок микрокриогенных систем на температурные уровни 4,5; 15; 25 и 80 К с холодопроизводительностью от 0,2 до 10 Вт для охлаждения линейных и матричных фотоприемных устройств на основе PtSi, HgCdTe, InSb, Si<Ga>, SIS. Рассмотрены перспективные типы микрокриогенных систем. Показаны возможности создания фотоприемных устройств и криогенных систем по единым нанотехнологиям.

Развитие фотоэлектронных-, тепловизионных- и радиоприборов с охлаждаемыми приемниками требует разработки микрокриогенных систем (МКС) с параметрами, соответствующими характеристикам фотоприемных устройств (ФПУ). К основным теплофизическим параметрам в первую очередь следует отнести температурный уровень криостатирования, который зависит от технологии изготовления ФПУ и применяемых материалов. Наибольшее распространение получили ФПУ на основе PtSi, HgCdTe, InSb, Si<Ga>, SIS и др. Широкий спектр типов ФПУ влечет за собой достаточно большой набор уровней криостатирования: 4,5; 15; 25; 80 К и др.

Другим важным фактором является объект размещения ФПУ и МКС. В мировой и отечественной практике при бортовом размещении

наиболее часто используются МКС на базе ГKM Сплит-Стирлинг и дроссельные, при наземном стационарном размещении — охладители Гиффорда-МакМагона и пульсационные трубы. На выбор типа МКС влияют и другие важные характеристики, такие как ресурс, надежность, энергопотребление, масса, габаритные размеры, вибрации, тип охлаждения и др. В результате для обеспечения криостатирования всех ФПУ необходимо иметь большую номенклатуру МКС.

В табл. 1 приведены некоторые зарубежные фирмы и производимые ими МКС, работающие по циклу Стирлинга. В зависимости от применения они выполнены по различным компоновочным схемам, таким как интегральные Стирлинги, Сплит-Стирлинги. Привод части МКС выполняется линейным, у других — вращательным.

Таблица 1

МКС, работающие по циклу Стирлинга

Фирма-производитель	Продукция
RICOR Cryogenic & Vacuum systems	K508, K526, K526S, K549, K560, K532, K539
HYMATIC	SAX-101

Окончание табл. 1

Фирма-производитель	Продукция
THALES	UP7056, UP7057, UP7058, UP7080, UP7086, UP7088, UP7087, LS2-5, LS5-5, LS5-7, LS10-11, LSF9180(9187, 9188, 9189), LSF9320, RS5-5, RS6-8, RM2-7i, RM5-6i
RAYTHEON	7044H, 7050HA-14, 7060H, 7070H, 7050H, MX7045L, MX7049, MX7050, MX7051, MX8000, 7049/7051, 7050, 7052, 7055, 7060
STE Stirling Technology Company	RG-55, RG350, RG1000, RG3000, 25-90-LAB, 25-90-OEM, 15-80-OEM
SHI Sumitomo Cryo. Janis	SR2110, SR2110/RS21A
Stirling Cryogenics & Refrigerator	SPC-1, SPC-4, SPC-2, SPC-8, GPC-1, GPC-\$
FLIR System	MC3
Carleton Life Support Systems (Litton)	LC1040, LC1045, LC1055, LC1056, RC1034
AIM-IR	SL200-16, SL400-10, SL150-6, SL100, SC100, HD1033, SC025
Ball Aerospace & Technologies	SB160, SB230, SB335, SB235, SB235E, OC190
SUNPOWER	M100A, M77, M223A, M87

В НТК "Криогенная техника" в настоящее время разрабатываются и изготавливаются около двух десятков типов МКС для охлаждения ФПУ.

В рамках Федеральной комплексно-целевой программы развития систем тепловидения и приборов ночного видения нашим предприятием разработаны базовые конструкции трех классов МКС Сплит-Стирлинг с линейным приводом, предназначенных для криостатирования многоэлементных фотоприемников (ФП) перспективных модульных тепловизионных приборов (ТВП) наблюдения и прицеливания нового поколения для всех родов войск.

Важнейшие характеристики разработанных в НТК "Криогенная техника" МКС (в наиболее жестких условиях эксплуатации) приведены в табл. 2.

В настоящее время НТК "Криогенная техника" ведет разработку модификаций базовых конструкций МКС, учитывающих особенности применения в конкретных ТВП.

Внешний вид МКС показан на рис. 1.

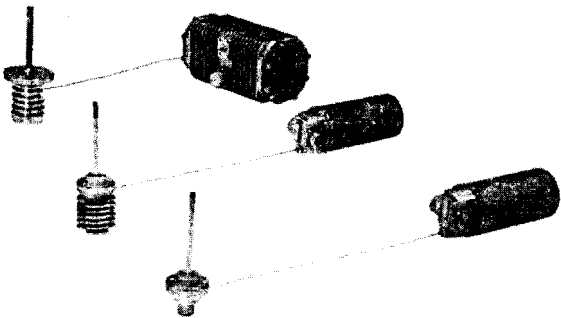


Рис. 1. Базовая МКС

МКС, разработанные ООО «НТК "Криогенная техника"»

Таблица 2

Параметры	Модули МКС		
	1-й класс	2-й класс	3-й класс
Диаметр/длина колодца ФП, мм	9/72,5	6/71	6/71
Максимальная тепловая нагрузка от ФП при температуре (80±2) К, Вт	1,3	0,6	0,4
Приведенная к температуре криостатирования суммарная охлаждаемая масса ФП, г, не более	10	5	4
Время выхода на рабочий режим, мин, не более	7	5	6
Потребляемая мощность, Вт, не более:			
в пусковом режиме	150	85	55
в рабочем режиме	100	45	30
Питание от сети постоянного тока, В	27 ⁺² ₋₅	27 ⁺² ₋₅	12 ₋₂
Температура окружающей среды, °С	От -50 до +50		
Средняя наработка на отказ, ч	10 000		
Масса, кг, не более	5	3	2,3

В рамках отдельной работы разработана МКС, имеющая улучшенные характеристики энергопотребления по сравнению с базовой МКС 2-го класса. Ее внешний вид приведен на рис. 2. Предварительные испытания МКС находятся в стадии завершения. МКС предназначена для криостатирования ФПУ, разработанного ФГУП «НПО "Орион"» и имеющего вакуумную конструкцию криостата.

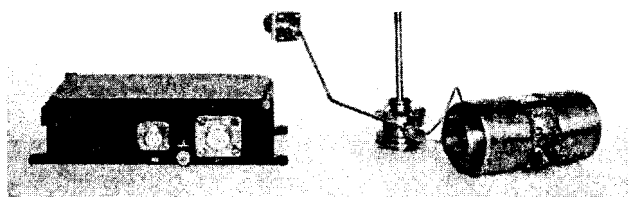


Рис. 2. МКС с улучшенными характеристиками электропотребления

Начата разработка МКС космического применения.

Основные технические характеристики МКС по ТЗ: холодопроизводительность на уровне 80 К — не менее 10 Вт; потребляемая мощность — не более 490 Вт; назначенный ресурс — 25 000 ч; масса: ГKM — 15 кг; БУ — 4 кг; размеры ГKM: компрессор — Ø88×410 мм; охладитель — Ø60×481 мм; БУ — 206×305×80 мм.

Внешний вид изготовленного макета ГKM приведен на рис. 3.

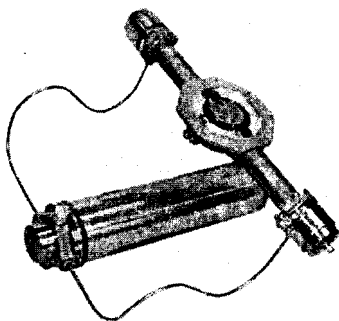
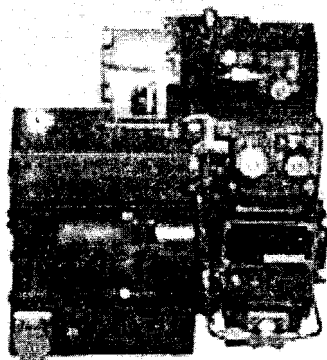


Рис. 3. Внешний вид макета ГKM

Разработанные МКС предполагается применять в основном для криостатирования ФПУ с фоточувствительными элементами на основе HgCdTe, однако прорабатывается возможность расширения сферы ее применения. Так, для МКС 1-го класса вполне реальной является воз-

можность криостатирования ФПУ с эффектом квантовых размерных ям (КВИПов). МКС обеспечивает холодопроизводительность около 1 Вт на температурном уровне 55 К.

К настоящему времени не утратили своих позиций в ряду МКС, предназначенных для криостатирования ФПУ, замкнутые дроссельные микрокриогенные системы (ЗДМКС). Это обусловлено достигнутыми успехами в их совершенствовании. Применение в качестве рабочих тел газовых смесей, обладающих высокой термодинамической эффективностью, схемы форсирования работы компрессора в период пуска системы, а также автоматического дроссельного устройства обеспечили высокий уровень указанных систем. В настоящее время имеются базовые образцы серийно выпускаемых ЗДМКС холодопроизводительностью 1, 2, 4 и 10 Вт. Внешний вид первых двух образцов ЗДМКС представлен на рис. 4.



а

б

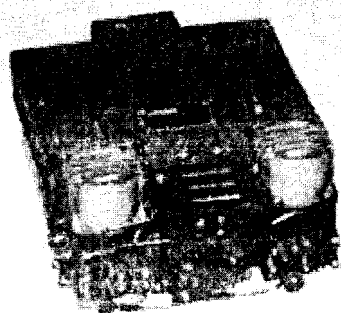


Рис. 4. Базовые образцы серийно выпускаемых ЗДМКС холодопроизводительностью:
а — 1 Вт; б — 2 Вт

Технические параметры ЗДМКС представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры	МСДП-4В-1/80	МСДП-6В-1,3/80	МСДП-8В-1,8/80	МСДП-15В-3,2/80	МСДП-20В-10/80
Холодопроизводительность, Вт	1,2	1,2	2,0	4,0	10,0
Температура криостатирования, К	80	80	80	80	80
Масса, кг	6	6—8	8	14	20
Потребляемая мощность, Вт	200	60	300	450	750

В плане дальнейшего совершенствования развернуты работы по созданию модульной ЗДМКС 1-го класса. Эта система при необходимости стыкуется без доработок с модульными ФПУ 2-го и 3-го классов. Таким образом, обеспечивается унификация различных типов криогенных систем, используемых для криостатирования ФПУ.

Разработанные системы обладают способностью автоматически адаптироваться к конкретной тепловой нагрузке путем регулирования интенсивности работы компрессора. После форсированного охлаждения ФПУ на повышенных оборотах вала компрессора обороты по сигналу от датчика температуры из зоны криостатирования предельно снижаются и в дальнейшем автоматически поддерживаются в балансе с конкретной тепловой нагрузкой. В такой системе в несколько раз снижается энергопотребление в стационарном режиме и на порядок возрастает ресурс. Несмотря на появление в составе системы дополнительного элемента — блока управления работой компрессора — уменьшаются масса и габаритные размеры. Это объясняется существенным снижением интенсивности работы и энергонасыщенности отдельных узлов.

Простота конструкции, отсутствие энергопотребления, высокая надежность и сравнительно низкая стоимость в сочетании с коротким временем выхода на рабочий режим и сегодня определяют высокую потребность в баллонных дроссельных микрокриогенных системах (БДМКС) рефрижераторного и оживительного типов в основном в тепловизионных прицелах сухопутных войск. Спроектированные на базе отечественного саморегулирующегося дроссельного микротеплообменника и шарового баллона из титанового сплава БДМКС "Алдан" обеспечивают требуемые параметры при использовании в качестве криогента как азота, так и воздуха. БДМКС являются оптимальным устройством для охлаждения ИК-приемников головок самонаведения.

В НТК "Криогенная техника" исследованы принципы построения и определены тактико-технические характеристики бортовых криогенных систем охлаждения (БКСО) на базе МКС Стирлинга для аппаратуры ИК-наблюдения маломассогабаритных космических аппаратов. Теоретические и экспериментальные исследования показали принципиальную возможность создания МКС Стирлинга с линейным приводом с ресурсом 40 000—50 000 ч, достигаемого с помощью бесконтактного магнитного подвеса подвижных узлов.

Бортовая криогенная система охлаждения предназначена для обеспечения криогенных температур криостатирования следующих конструктивных элементов криомодуля: ФПУ, корпу-

са, ИК-светофильтра, коммутаторов. ФПУ представляет собой сборку многорядных гибридных фоточувствительных микросхем матричного типа длиной 160 мм.

Проведен комплекс работ по созданию МКС гелиевого температурного уровня без дроссельного контура для радиотелескопов. Охлаждаемый входной блок выполнен в виде матрицы четырех (2×2) идентичных приемников в составе волноводных смесительных камер. Основным элемент приемника — смеситель на сверхпроводниковом квантовом туннельном квазичастотном переходе сверхпроводник—изолятор—сверхпроводник (SIS), выполненном на базе сверхпроводника ниобия. Требуемый уровень охлаждения SIS-структуры не выше 4,5 К.

Для экспериментальных исследований была использована доработанная серийная система охлаждения МСМР-100А-15/2,5, выполненная на базе двухступенчатого охладителя Гиффорда-МакМагона. Минимальная температура, полученная на микроохладителе без тепловой нагрузки, составила 2,86 К при нагрузке 0,69 Вт — 4,2 К.

Анализ современных достижений и мировых тенденций развития МКС для ФПУ показывает, что для бортовых применений, где жесткие массогабаритные требования, в подавляющем большинстве случаев применяются МКС, работающие по циклу Стирлинга, и дроссельные. В ближайшие несколько лет ситуация для таких применений не изменится, что связано с массогабаритными характеристиками этих МКС.

В то же время на крупных космических аппаратах, где требуется длительный ресурс работы, возможно применение МКС на базе пульсационных труб, разработку и выпуск которых ведут ряд фирм.

Тенденции последних лет показывают, что в наземных МКС доля пульсационных труб увеличивается, а охладителей Гиффорда-МакМагона — уменьшается. Это связано с тем, что современные охладители на базе пульсационных труб имеют ряд преимуществ перед охладителями Гиффорда-МакМагона.

Следует учитывать, что в недалеком будущем возможно появление принципиально новых типов МКС, о чем говорят интенсивные исследования в ряде зарубежных и отечественных криогенных лабораторий.

Наиболее близки к практическому применению волновые или, как их еще называют, акустические охладители, которые работают на прямом преобразовании акустического излучения в холод или теплоту. Такие системы не имеют механически подвижных узлов, и поэтому имеют целый ряд преимуществ перед другими. На рис. 5 показан макетный образец термоаку-

стической МКС, разработанной United Technologies Corp.

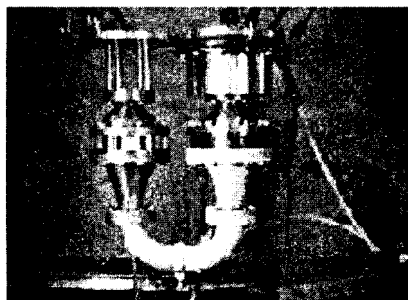


Рис. 5. Макетный образец термоакустической МКС

LANL разрабатывает термоакустическую МКС с компоновкой, допускающей стыковку с наиболее распространенными типами ФПУ, что может позволить в ряде случаев заменять МКС Стирлинга на термоакустические.

Американская фирма MacroSoniX разработала акустические компрессоры с перепадом давления на входе и выходе до 35 атмосфер.

В 2003 г. в НТК "Криогенная техника" предложены принципиально новые системы охлаж-

дения — нанокриогенные. Такое название они получили из-за нанометровых характерных размеров. Эти системы могут быть размещены внутри ФПУ и других электронных приборов, например в коммутаторах, процессорах, усилителях и др. На рис. 6 показан вариант выполнения нанокриогенной системы, работающей по циклу Стирлинга и размещенной внутри микро- или нанoeлектронного прибора.

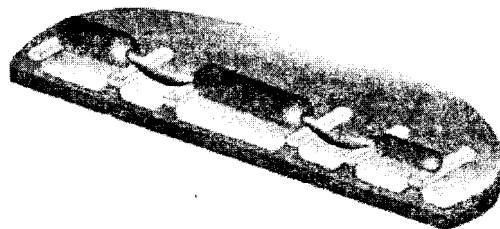


Рис. 6. Нанокриогенная система, работающая по циклу Стирлинга

В заключение следует отметить, что появление новых типов ФПУ может привести к изменению современных тенденций развития микрокриогенных систем.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Latest advances and world trends in the development of microcryogenic systems for cooling photodetecting devices

A. V. Gromov, V. M. Yermakov, V. I. Karagusov, M. V. Lipin, V. I. Lyapin
STC "Cryogenic Technique", Omsk, Russia

Latest advances and world trends in the development of microcryogenic systems for photodetecting devices are presented. Results of the development of PtSi, HgCdTe, InSb, Si<Ga>, SIS-based, 4.5, 15, 25, 80 K microcryogenic systems of 0.2 to 10 W refrigerating capacity for cooling linear and matrix photodetecting devices are described. Promising types of microcryogenic systems are considered. The scope for developing photodetecting devices and cryogenic systems according to common nanotechnologies is shown.

УДК 621.384.32

Оценка предельно достижимой разности температур, эквивалентной шуму, и эффективного значения элементарного поля зрения тепловизионных приборов

В. А. Овсянников, В. Л. Филиппов

ФГУП «Научно-производственное объединение "Государственный институт прикладной оптики"»,
г. Казань, Россия

Даны численные оценки минимальных значений разности температур, эквивалентной шуму, и соответствующего эффективного значения элементарного поля