

## Форма заявки

1. Общие сведения о Заявителе.

1.1. Название организации, подразделением которой является коллектив-Заявитель или сотрудник-Заявитель, с указанием ведомства.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук

1.2. Название структурного подразделения и ссылка на его веб-страницу (если имеется).

Лаборатория сверхпроводниковых устройств для приема и обработки информации.

<http://www.cplire.ru/html/lab234>

1.3. Актуальный на момент подачи заявки список сотрудников, аспирантов и студентов (при наличии в подразделении внутренней структуры – с разделением на сектора или группы, с указанием руководителей и ключевых исследователей).

№№	Должность	Степень	Ф.И.О.	Примечания
1.	Зав.лаб.	д.ф.-м.н.	Кошелец В.П.	
2.	Гл.н.с.	д.ф.-м.н.	Тарасов М.А.	
3.	Вед.н.с.	д.ф.-м.н.	Фалей М.И.	Центр Юлих, Германия *
4.	Ст.н.с.	к.ф.-м.н.	Дмитриев П.Н.	
5.	Ст.н.с.	к.ф.-м.н.	Ермаков А.Б.	
6.	Ст.н.с.	к.ф.-м.н.	Лапицкая И.Л.	
7.	Ст.н.с.	к.ф.-м.н.	Филиппенко Л.В.	
8.	Науч.сотр.	к.ф.-м.н.	Барышев А.М.	СРОН-Гронинген, Нидерланды *
9.	Науч.сотр.	к.ф.-м.н.	Иосад Н.Н.	Дельфт, Нидерланды *
10.	Науч.сотр.	к.ф.-м.н.	Соболев А.С.	
11.	Науч.сотр.	к.ф.-м.н.	Торгашин М.Ю.	
12.	Науч.сотр.	к.ф.-м.н.	Фоминский М.Ю.	
13.	Науч.сотр.	к.ф.-м.н.	Хабипов М.И.	ПТБ-Брауншвейг, Германия *
14.	Мл.н.с.	к.ф.-м.н.	Кинев Н.В.	
15.	Мл.н.с.	к.ф.-м.н.	Киселев О.С.	
16.	Мл.н.с.	к.ф.-м.н.	Худченко А.В.	СРОН-Гронинген, Нидерланды *
17.	Стажер-исследователь		Калашников К.В.	Аспирант МФТИ
	<b>Научно-техн. персонал</b>			
18.	Гл. специалист		Пахомова Г.Д.	
19.	Инженер		Рудаков К.И.	Студент МФТИ
20.	Инженер		Нагирная Д.В.	Студент МФТИ
21.	Инженер		Артанов А.А.	Студент МФТИ
22.	Инженер		Парамонов М.Е.	Аспирант ИРЭ
23.	Инженер		Юсупов Р.А.	Студент МФТИ
24.	Инженер		Чекушкин А.М.	Студент МФТИ

\* - командировка для научной работы в рамках соглашений о международном сотрудничестве (без оплаты).

1.4. Адрес электронной почты руководителя подразделения или сотрудника-Заявителя.  
[valery@hitech.cplire.ru](mailto:valery@hitech.cplire.ru)

2. Сведения о научной тематике и результатах Заявителя.

2.1. Определение тематики Заявителя и/или нескольких коллективов в его составе кодами Рубрикатора и, дополнительно, 3-5 ключевыми словами в произвольной форме.

1718 Сверхпроводимость

17181 3D сверхпроводящие материалы, их оптические, магнитные и микроволновые свойства

17182 Гибридные и низкоразмерные сверхпроводящие структуры

17253 Криоэлектроника

1801 Разработка детекторов и стандартов электромагнитных сигналов; эталонов тока, напряжения, сопротивления

1802 Разработка наноэлектронных источников и детекторов

18021 Сверхчувствительные магнитные детекторы на основе SQUID

18033 Полупроводниковые и сверхпроводниковые однофотонные детекторы, матричные детекторы электромагнитных сигналов, тепловизоры высокого разрешения и другие высокочувствительные оптические детекторы

18061 полупроводниковые и сверхпроводниковые источники и детекторы терагерцового диапазона

1811 Принципы действия и разработка интегральных микросхем

Коды рубрикатора для корпуса экспертов: 72, 73, 74, 85, 86.

Ключевые слова: сверхпроводниковая электроника, приемные системы субТГц диапазона, сверхпроводниковые интегральные структуры

2.2. Список из не более N самых существенных, по мнению Заявителя, публикаций за последние 10 лет (статьи, книги), и общее число рецензируемых публикаций за этот период (одно число).

1. V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, V.V. Kurin, A.L. Pankratov, J. Mygind, "Optimization of the Phase-Locked Flux-Flow Oscillator for the Submm Integrated Receiver", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, vol. 15, pp. 964-967, 2005. DOI: **10.1109/TASC.2005.850140**

2. R. Monaco, J. Mygind, M. Aaroe, R. J. Rivers, and V. P. Koshelets, "Zurek-Kibble Mechanism for the Spontaneous Vortex Formation in Nb-Al/AlOx/Nb Josephson Tunnel Junctions: New Theory and Experiment", *Phys. Rev. Lett.* 96, 180604, May 2006. DOI: **10.1103/PhysRevLett.96.180604**

3. V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, O.S. Kiselev, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.A. Yagoubov, R.W.M. Hoogeveen, and W. Wild, "Integrated Submillimeter Receiver for TELIS", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, vol. 17, pp. 336-342, 2007. DOI: **10.1109/TASC.2007.898622**

4. M.Yu. Torgashin, V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, and P.A. Yagoubov, "Superconducting Integrated Receivers based on Nb-AlN-NbN circuits" *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, vol. 17, pp. 379- 382, 2007. DOI: **10.1109/TASC.2007.898624**

5. M. Tarasov, J. Svensson, L. Kuzmin, E.E.B. Campbell, "Carbon nanotube bolometers", *Applied Physics Letters*, vol. 90, 163503, 2007. DOI: 10.1063/1.2722666.

6. A.L. Pankratov, A.S. Sobolev, V.P. Koshelets, and J. Mygind, "Influence of surface losses and the self-pumping effect on current-voltage characteristics of a long Josephson junction", *Physical Review B*, 75, 184516, 2007. DOI: **10.1103/PhysRevB.75.184516**

7. R. Monaco, J. Mygind, R. J. Rivers and V. P. Koshelets, "Spontaneous fluxoid formation in superconducting loops", Phys. Rev. B (Rapid Communications), **80**, No 18, 180501-4, 2009. DOI: **10.1103/PhysRevB.80.180501**

8. Gert de Lange, Manfred Birk, Dick Boersma, Johannes Dercksen, Pavel Dmitriev, Andrey B. Ermakov, Lyudmila V. Filippenko, Hans Golstein, Ruud W.M. Hoogeveen, Leo de Jong, Andrey V. Khudchenko, Nickolay V. Kinev, Oleg S. Kiselev, Bart van Kuik, Arno de Lange, Joris van Rantwijk, Alexander S. Sobolev, Mikhail Yu. Torgashin, Ed de Vries, Pavel A. Yagoubov, and Valery P. Koshelets, "Development and Characterization of the Superconducting Integrated Receiver Channel of the TELIS Atmospheric Sounder", Supercond. Sci. Technol. vol. 23, No 4, 045016 (8pp), (2010). DOI: **10.1088/0953-2048/23/4/045016**

9. A. K. Feofanov, V. A. Oboznov, V. V. Bol'ginov, J. Lisenfeld, S. Poletto, V.V. Ryazanov, A. N. Rossolenko, M. Khabipov, D. Balashov, A. B. Zorin, P.N. Dmitriev, V.P. Koshelets and A.V. Ustinov, "Implementation of superconductor-ferromagnet-superconductor  $\pi$ -shifters in superconducting digital and quantum circuits", *Nature Physics*, vol 6, pp. 593-597, August 2010. DOI: **10.1038/NPHYS1700**

10. Mengyue Li, Jie Yuan, Nickolay Kinev, Jun Li, Boris Gross, Stefan Gurenon, Akira Ishii, Kazuto Hirata, Takeshi Hatano, Dieter Koelle, Reinhold Kleiner, Valery P. Koshelets, Huabing Wang, and Peiheng Wu, "Linewidth dependence of coherent terahertz emission from  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  intrinsic Josephson junction stacks in the hot-spot regime", Physical Review B (**Rapid Communications**) **86**, 060505(R) (2012). DOI: **10.1103/PhysRevB.86.060505**

Общее число статей в рецензируемых журналах за период 2004 - 2013 равно 97; (учтены только те статьи, где указан ИПЭ им. В.А. Котельникова РАН).

**2.3. Список грантов, госконтрактов или иных источников финансирования за последние 5 лет, в том числе, текущих (с указанием источника и примерного объема финансирования, названия или тематики проекта, годов выполнения). Объем базового бюджетного финансирования за последние 5 лет (кроме зарплаты), если таковое было.**

#### **Федеральные целевые программы, средства из внебюджетных источников, гранты.**

##### **Работа 1**

Проект РФФИ 08-02-92890-CE\_a «Создание Центра по разработке устройств для приема терагерцового излучения», Конкурс российско-голландских проектов, осуществляемых в рамках программы создания "Центров передовых знаний", руководитель - Кошелец В.П. Объем финансирования лаборатории около 0,7 млн. рублей (2008-2010).

##### **Работа 2**

Проект 00073.00001 по соглашению между Международным фондом инвестиций и технологий и Государственным институтом космических исследований Нидерландов "Разработка микросхемы для бортового сверхпроводникового спектрометра по проекту ТЕЛИС" (2008 - 2010), руководитель - Кошелец В.П. Общее финансирование за три года составило 320 тыс. Евро (около 13.7 млн. рублей).

##### **Работа 3**

Государственный контракт от 4 августа 2008 г. № 02.513.12.0031 в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2007-2012 годы, Развитие системы ведущих научных школ». Выполнение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям Программы "Интегральный квантовый приемник субмм волн на основе сверхпроводниковых наногетероструктур", НШ-5408.2008.2 (2008-2009), руководитель - Кошелец В.П. Объем финансирования лаборатории около 1.2 млн. рублей.

#### **Работа 4**

Грант на поддержку ведущих научных школ Российской Федерации в 2010-2011 гг. по теме «Разработка новых сверхпроводниковых элементов терагерцового диапазона, исследование физических принципов их работы», шифр темы: НШ-5423.2010.2", руководитель - Кошелец В.П. Объем финансирования лаборатории - 1.0 млн. рублей.

#### **Работа 5**

Программа Президиума РАН «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов» проект № 1.5.8 " Квантовые когерентные наноструктуры для приема и генерации электромагнитного излучения терагерцового диапазона", руководитель - Кошелец В.П. Объем финансирования – 1,2 млн. рублей (2009-2011).

#### **Работа 6**

Проект МНТЦ 3174 "Разработка и исследование интегральных приёмников диапазона 0.5 – 1 THz", руководитель - Кошелец В.П. Сроки проведения: июль 2006 г. – сентябрь 2009 г. Полная стоимость - 353 383 Евро – поддержан Европейским Союзом (коллбораторами являлись Институт космических исследований Голландии, научный центр Юлих, Германия, Чалмерский технологический университет (Швеция), Технический университет Дании и Университет Эрланген-Нюрнберг (Германия); финансирование участников коллектива составило 240 тыс. Евро (около 10,3 млн. рублей).

#### **Работа 7**

Грант РФФИ № 09-02-00246\_a " Квантовый интегральный приемник субмиллиметровых волн для новых радиоастрономических проектов", руководитель - Кошелец В.П. Общий объем финансирования - 1.4 млн. рублей (2009 -2011).

#### **Работа 8**

Грант РФФИ № 09-02-12172-офи\_м " Сверхпроводниковые интегральные наноструктуры для приема и генерации в терагерцовом диапазоне", руководитель - Кошелец В.П. Общий объем финансирования - 4.2 млн. рублей (2009 -2010).

#### **Работа 9**

Грант РФФИ 05-02-19650-НЦНИЛ\_a «Болометр субмиллиметровых волн на холодных электронах», руководитель – Тарасов М.А., полное финансирование 1.4 млн. руб. (2006 -2008).

#### **Работа 10**

Цепочки сверхчувствительных болометров на холодных электронах для космологических исследований. Государственный контракт № 02.740.11.5103 от 25 июня 2009 г, Руководитель Тарасов М.А. Объем финансирования лаборатории - 1,5 млн. руб. (2009 -2010).

#### **Работа 11**

Государственный контракт от 24 апреля 2010 г. № 02.740.11.0795 в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013. Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области нанотехнологий и наноматериалов по теме: «Композиционные наноматериалы и нанотехнологии для создания интегральных приемников и генераторов терагерцового диапазона», руководитель - Кошелец В.П. Объем финансирования лаборатории составил около 2,5 млн. руб. (2010 -2012).

#### **Работа 12**

Грант РФФИ № 11-02-12195-офи\_м " Интегральные приемные устройства терагерцового диапазона для медицинской диагностики и систем безопасности", руководитель - Кошелец В.П. Объем финансирования лаборатории - 1,6 млн. рублей (2011 -2012).

#### **Работа 13**

Грант РФФИ № 11-02-12145-офи-м " Электронное охлаждение в наноструктурах с туннельными переходами сверхпроводник-изолятор-нормальный металл", руководитель – Тарасов М.А. Общий объем финансирования - 3.4 млн. рублей (2011 -2012).

**Работа 14**

Грант РФФИ № 11-02-12213-офи-м "Генераторы и детекторы СВЧ излучения на основе сверхпроводниковых туннельных наноструктур", руководитель – Дмитриев П.Н., Общий объем финансирования - 4.3 млн. рублей (2011 -2012).

**Работа 15**

Соглашение с МОН № 8033 в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013. Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров по теме: «Комплексная микроволновая диагностика новых наноматериалов, сверхпроводниковых наноструктур и приемных устройств на их основе», руководитель - Кошелец В.П. Объем финансирования лаборатории – 1,9 млн. руб. (2012 -2013).

**Работа 16**

Соглашение с МОН № 8562 в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013. Проведение научных исследований коллективами под руководством докторов наук по теме: «Технология интегральных сверхпроводниковых наноструктур для приемных устройств терагерцового диапазона», руководитель - Кошелец В.П. Общий объем финансирования – 2,47 млн. руб. (2012 -2013).

**Работа 17**

Соглашение с МОН № 8736 в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013. Проведение научных исследований коллективами под руководством кандидатов наук по теме: «Методы получения и диагностики сверхпроводниковых наноструктур для приемных элементов терагерцового диапазона», руководитель - Филиппенко Л.В. Общий объем финансирования – 2,1 млн. руб. (2012 -2013).

**Работа 18**

Соглашение с МОН № 8541 в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013. Проведение научных исследований коллективами под руководством кандидатов молодых наук по теме: «Разработка и диагностика терагерцового спектрометра для исследования состава воздуха с приемным элементом на основе туннельных наноструктур», руководитель - Киселев О. С. Объем финансирования – 1,18 млн. руб. (2012 -2013).

**Работа 19**

Соглашение с МОН № 8641 в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013. Проведение научных исследований коллективами под руководством приглашенного исследователя по теме: «Разработка и диагностика плазменного кристалла на джозефсоновском переходе с нано-инжекторами», руководитель – Голдобин Э.Б. Объем финансирования лаборатории – 1,2 млн. руб. (2012 -2013).

**Работа 20**

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 24 «Фундаментальные основы технологий наноструктур и наноматериалов», проект "Сверхпроводниковые наноструктуры для приемников и источников терагерцового излучения", руководитель – Кошелец В.П. Объем финансирования - 1.7 млн. рублей за 2013-2014 годы (2012-2014).

**Работа 21**

Грант РФФИ 13-02-00493-а "Приемники и генераторы терагерцового излучения на основе интегральных сверхпроводниковых наноструктур", руководитель - Кошелец В.П. Общий объем финансирования - 0.35 млн. рублей за 2013 год (2013 -2015).

### 3. Не более 2 страниц текста в свободной форме, со следующими сведениями.

3.1. Разработана технология изготовления сверхпроводниковых туннельных переходов  $\text{Nb-AIO}_x\text{-Nb}$  и  $\text{Nb-AlN-NbN}$  с рекордными параметрами (плотности тока до  $100 \text{ кА/см}^2$ ); разработаны методы электронно-лучевой литографии для воспроизводимого изготовления туннельных переходов субмикронных размеров (площадь до  $0.1 \text{ мкм}^2$ ). Это позволило повысить рабочую частоту СИС-приемников, расширить их полосу и создать ряд сверхчувствительных приемных устройств диапазона  $100\text{--}1000 \text{ ГГц}$ , а также разработать технологию сверхпроводниковых интегральных схем, использованных для проведения целого ряда физических экспериментов. Изготовлены кольцевые туннельные переходы, выдерживающие более 10 тысяч термоциклирований, которые были использованы при исследовании спонтанного нарушения симметрии (Zurek-Kibble Mechanism). С помощью этой технологии разработаны и успешно реализованы элементы метаматериалов на основе сверхпроводящих квантовых интерферометров; созданы и измерены метаматериалы с настраиваемой отрицательной магнитной проницаемостью.

Создано семейство болометров на холодных электронах (БХЭ), предназначенных для измерения реликтового космического излучения. Исследован отклик на частотах сигнала до  $2 \text{ ТГц}$ . На частоте  $345 \text{ ГГц}$  получена вольт-ваттная чувствительность  $10^9 \text{ В/Вт}$ , электрическая мощность эквивалентная шуму  $\text{МЭШ}_{\text{эл}} = 6 \cdot 10^{-18} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$  и оптическая  $\text{МЭШ}_{\text{опт}} = 2 \cdot 10^{-17} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$ , что меньше фотонных шумов измеряемого сигнала. Изготовлены и исследованы БХЭ с абсорбером из углеродной нанотрубки и из графена. Разработаны, изготовлены и исследованы электронные охладители на основе переходов сверхпроводник-изолятор-нормальный металл и получено электронное охлаждение с  $300 \text{ мК}$  до  $100 \text{ мК}$ . Разработан и изготовлен планарный сквид-пикоамперметр, позволивший получить токовую чувствительность  $5 \text{ пА/Гц}^{1/2}$  в полосе частот от  $10 \text{ Гц}$  до  $10 \text{ кГц}$ . Разработан и изготовлен планарный быстродействующий сверхпроводниковый нанопереклюатель, позволяющий модулировать сигнал на частоте  $230 \text{ ГГц}$  с частотой модуляции до  $100 \text{ кГц}$  и глубиной модуляции  $14 \text{ дБ}$ .

Создан и исследован сверхпроводниковый генератор гетеродина (СГГ) на основе распределенных туннельных джозефсоновских переходов. Впервые реализована непрерывная перестройка частоты сверхпроводникового генератора в диапазоне  $250\text{--}750 \text{ ГГц}$  и фазовая стабилизация частоты СГГ, получено спектральное качество более  $70\%$  во всем частотном диапазоне перестройки СГГ. Экспериментально продемонстрирована возможность получения фазовых шумов порядка  $-90 \text{ дБс}$  при отстройке от несущей частоты более  $100 \text{ кГц}$ . Эти результаты до сих не повторены ни в одной лаборатории мира. Для эффективной синхронизации сверхпроводникового генератора гетеродина в составе интегрального спектрометра субТГц диапазона предложена и апробирована концепция криогенной системы ФАПЧ, ключевым элементом которой является новый элемент сверхпроводниковой электроники – криогенный фазовый детектор. За счет компактности и малых задержек петли достигнута ширина полосы синхронизации системы около  $70 \text{ МГц}$ , что позволяет синхронизовать более  $90\%$  мощности СГГ при ширине автономной линии  $12 \text{ МГц}$ , что на порядок превосходит предельные значения для традиционной полупроводниковой системы ФАПЧ.

Разработана и апробирована концепция сверхпроводникового интегрального приемника ТГц диапазона. Основным элементом приемника является интегральная микросхема, которая включает в себя СИС-смеситель с планарной сверхпроводниковой приемной антенной, сверхпроводниковый генератор гетеродина (СГГ) и гармонический смеситель для фазовой синхронизации частоты гетеродина. Для бортового интегрального приемника реализован частотный диапазон  $450\text{--}650 \text{ ГГц}$ , шумовая температура менее  $120 \text{ К}$  (DSB), полоса ПЧ  $4\text{--}8 \text{ ГГц}$ , спектральное разрешение лучше  $1 \text{ МГц}$ . На полигоне «Espace» (Швеция) совместно с Институтом космических исследований Голландии и Немецким аэрокосмическим центром, были проведены 3 успешных запуска бортового интегрального спектрометра. Инструмент продемонстрировал возможность работы в экстремальных условиях (температура минус  $90^\circ \text{ С}$ ) и позволил собрать большое количество научной информации, подтверждающей высокое спектральное разрешение и чувствительность прибора. В ходе полетов на высотном аэростате были измерены спектры различных газовых составляющих, в том числе  $\text{ClO}$  и  $\text{BrO}$ , ответственных за разрушение озонового

слоя Земли, изучено их распределение в диапазоне высот 12 – 36 км во время восхода солнца; измерены спектры изотопов различных веществ ( $H_2O$ ,  $HCl$ , и т.д.).

Разработан и испытан лабораторный вариант интегрального спектрометра для приема излучения из криогенных генераторов нового поколения ТГц диапазона и спектрального анализа газовой смеси. С помощью такого спектрометра проведен цикл исследований излучения из сверхпроводниковых генераторов на основе  $BSCCO$  меза-структур, представляющих собой массив последовательных джозефсоновских переходов. В диапазоне от 450 до 740 ГГц измерены спектральные характеристики излучения ВТСП меза-структур, получена ширина линии излучения менее 10 МГц и мощность 1 - 2 мкВт. Продемонстрирована возможность частотной и фазовой стабилизации излучения от ВТСП генератора.

3.2. Будет проведена разработка новых типов сверхпроводниковых наноструктур, определены их параметры. Планируется разработка технологии изготовления джозефсоновских туннельных СИС-переходов на основе эпитаксиальных пленок  $NbN$  и  $NbTiN$  с туннельными барьерами из  $MgO$  (величина щелевого напряжения  $V_g$  до 5.2 мВ, параметр качества туннельного барьера  $R_j/R_n > 30$ ). Все это позволит создавать генераторы и сверхчувствительные приемные устройства с рабочими частотами выше 1 ТГц. Будут созданы прототипы приемных устройств для наземных радиоастрономических телескопов и будущих космических миссий, включая проект РКА «Миллиметрон». Лаборатория обладает единственной в России современной технологией изготовления сверхпроводниковых туннельных наноструктур с уникальными параметрами, которые будут использованы для решения целого ряда физических задач в кооперации с другими группами. Будут продолжены разработки и исследования сверхпроводниковых элементов и сверхчувствительных приемных устройств ТГц диапазона. Будут созданы двумерные массивы, содержащие более 100 болометров на холодных электронах, позволяющие принимать излучение мощностью до 100 пВт на один пиксель без потери чувствительности по сравнению с достигнутой чувствительностью для мощности сигнала менее 1 пВт. Будут разработаны матрицы, содержащие более 100 таких массивов, позволяющие синтезировать изображение в субТГц диапазоне.

3.3. Лаборатория ведет совместные исследования со многими отечественными и зарубежными научными центрами. В их числе Институт космических исследований Нидерландов (SRON), Немецкий аэрокосмический центр (DLR), Чалмерский университет (Швеция), Исследовательский центр Юлиха, ПТБ-Брауншвейг и университет Тюбингена (Германия), Национальный институт материалов (Цукуба, Япония), Нанкинский университет (Китай), а также ИФМ РАН и ИПФ РАН (Нижний Новгород), МГУ, МПГУ и НИТУ «МИСИС» (Москва).

3.4. Создан и успешно работает уникальный комплекс для изготовления и исследования сверхпроводниковых структур на основе переходов  $Nb-AlO_x-Nb$  и  $Nb-AlN-NbN$ . В его состав входят две "чистые комнаты" класса 1000/10000 с рабочими зонами класса 100, сверхвысоковакуумные напылительные установки фирмы "Лейбольд АГ" L560-UV, Z400, а также установки совмещения и экспонирования MA150 и MJB3NP фирмы "Karl Zuss" с разрешением до 0.7 мкм. В 2010 году была успешно запущена в эксплуатацию система электронно-лучевой литографии для изготовления структур субмикронных размеров e\_Line фирмы Raith GmbH (Германия). В конце 2013 года лаборатория получит новую сверхвысоковакуумную установку магнетронного распыления кластерного типа для изготовления сверхпроводниковых туннельных наноструктур. Для проведения СВЧ измерений имеется большой набор оборудования: генераторы на ЛОВ вплоть до частоты 1.2 ТГц, а также Fourier Transform Spectrometer (FTS) с предельной частотой более 4 ТГц и разрешением порядка 1 ГГц, а также прецизионные синтезаторы и спектроанализаторы. Для проведения измерений при температурах жидкого гелия (и ниже, вплоть до 2 К) в распоряжении группы имеется ряд заливных криостатов импортного производства: Leybold-Heraeus (Германия), вакуумные криостаты от Infared Lab (США), а также криогенная система замкнутого цикла (предельная температура 2.5 К) фирмы «Cryomech». Величина эксплуатационных расходов для технологического и измерительного комплексов составляет более 1 млн. руб. (без учета стоимости запчастей и ремонта оборудования).

#### 4. Не более 2 страниц со следующими дополнительными сведениями.

##### 4.1. Об участии Заявителя в подготовке кадров в последние 5 лет (преподавание на базовых и других кафедрах ВУЗов, защитившиеся бакалавры, магистры, аспиранты).

Лаборатория сверхпроводниковых устройств для приема и обработки информации Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН ведёт активное участие в подготовке научных кадров. Студенты и аспиранты, обучающиеся на базовой кафедре Московского физико-технического института (МФТИ) (ГУ), и ряда других ВУЗов выполняют научно-исследовательскую работу участвуют в научной деятельности лаборатории. Подготовка студентов и аспирантов ведется в рамках ведущей научной школы «Разработка новых сверхпроводниковых элементов с рабочими частотами до 1 ТГц, исследование физических принципов их работы» (руководитель – д.ф.-м.н. профессор В.П. Кошелец, школа успешно работает с 2003 года), а также Научно-образовательного центра (НОЦ) в области нанотехнологий и наноматериалов для наноэлектроники (создан в ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН в 2009 году, руководитель В.П. Кошелец). Обучение проходит с использованием уникального технологического и метрологического оборудования, имеющегося в лаборатории, студенты получают квалификацию и подготовку, обеспечивающую их закрепление в сфере науки и образования. Результаты их работ регулярно публикуются в высокорейтинговых журналах, а также представляются в докладах на международных и всероссийских конференциях.

На 2013 год в лаборатории обучается **5 студентов магистратуры МФТИ** (Чекушкин А.М., Юсупов Р.А., Нагирная Д.В., Артанов А.А., Рудаков К.И.), **1 аспирант МФТИ** (Калашников К.В.), **1 аспирант ИРЭ им.В.А. Котельникова РАН** (Парамонов М.Е.). За последние 5 лет в лаборатории состоялось **7 защит диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук** (Дмитриев П.Н., Филиппенко Л.В., Фоминский М.Ю., Худченко А.В., Киселев О.С., Кинев Н.В., Торгашин М.Ю.), **5 защит выпускных магистерских дипломных работ** МФТИ (Киселев О.С., Кинев Н.В., Калашников К.В., Мухортова А.А., Кудряшов П.В.), **9 защит выпускных бакалаврских дипломных работ** МФТИ (Калашников К.В., Мухортова А.А., Токпанов Ю.С., Кудряшов П.В., Юсупов Р.А., Чекушкин А.М., Нагирная Д.В., Артанов А.А., Рудаков К.И.). Научный сотрудник, к.ф.-м.н. Соболев А.С., начиная с 2010 года, читает в МФТИ на кафедре радиотехники авторский курс лекций «Криоэлектронные устройства терагерцового диапазона», предназначенный студентам старших курсов. Аспирант 3 года Калашников К.В. преподаёт курс общей физики (учебные семинары, лабораторные работы) студентам 1-3 курсов МФТИ. Коллектив лаб. 234 является участником научно-квалификационного семинара по направлению «Сверхпроводниковая электроника» и «Физика низкоразмерных структур, микро- и наноэлектроника» (председатель семинара – Кошелец В.П.).

##### 4.2. О прикладных разработках, коммерциализации научных результатов.

В лаборатории активно ведётся разработка прикладных устройств в области сверхпроводниковой наноэлектроники, работающих в ТГц диапазоне. Достижением коллектива является создание уникального прибора, аналога которого по техническим характеристикам не существует в мире, – сверхпроводникового интегрального спектрометра ТГц диапазона. Данный прибор участвовал в научном исследовании атмосферы Земли с борта высотного аэростата в рамках международного проекта TELIS, описание проекта и его результатов <http://www.cplire.ru/html/lab234/index.htm>. Спектрометр обладает уникальной чувствительностью (шумовая температура лучше 120 К на частотах около 500 ГГц), высоким спектральным разрешением и широким рабочим частотным диапазоном (450-650 ГГц) с возможностью непрерывной перестройки частоты. На полигоне «Estrange» (Швеция) были проведены три успешных запуска бортового интегрального спектрометра. Инструмент продемонстрировал возможность работы в экстремальных условиях (температура минус 90° С) и позволил собрать

большое количество научной информации, подтверждающей высокое спектральное разрешение и чувствительность прибора. В ходе полета на высотном аэростате были измерены спектры различных газовых составляющих, в том числе ClO и BrO, ответственных за разрушение озонового слоя Земли, изучено их распределение в диапазоне высот 12 – 36 км во время восхода солнца; измерены спектры изотопов различных веществ (H<sub>2</sub>O, HCl, и т.д.). Разработан и испытан лабораторный вариант интегрального спектрометра для приема излучения из криогенных генераторов нового поколения диапазона 400 – 700 ГГц и спектрального анализа газовой смеси.

Другим значимым прикладным результатом является возможность спектрального исследования излучения ТГц генераторов с высоким разрешением (лучше 0,5 МГц), что на несколько порядков превосходит разрешение современных Фурье-спектрометров на основе интерферометрии. В данный момент ведутся работы по коммерциализации уникального ТГц спектрометра в таких областях, как медицина и системы безопасности, и уже достигнуты некоторые результаты по сверхчувствительному лабораторному анализу газовых смесей. Так, в медицине такой прибор представляется крайне перспективным с точки зрения неинвазивной диагностики болезней человека по составу выдыхаемого воздуха по веществам-маркерам. Системы безопасности могут использовать такой прибор как датчик опасных, отравляющих и взрывчатых веществ на расстоянии без физического контакта с объектом исследования.

#### 4.3. Об организации международных конференций и семинаров (со ссылкой на сайт конференции).

Коллектив лаборатории принимает активное участие в организации международных конференций. Так, в 2013 году проф. Кошелец В.П. принял участие в организации 11<sup>й</sup> Европейской конференции по прикладной сверхпроводимости (EUCAS 2013 и вошёл в ее программный комитет: <http://www.eucas2013.org/program-committee>.

Тарасов М.А. – многократно был членом оргкомитета The Cryogenic Nanosensors Workshop, Bjorkliden, Kiruna, Sweden (2006, 2008, 2009, 2011, 2013), см, например, <http://homepages.lboro.ac.uk/~phrtg/aqdjj/kiruna-08/>; [http://www.dumaem-po-ruski.org/docs/cryogenic\\_nanosensors.pdf](http://www.dumaem-po-ruski.org/docs/cryogenic_nanosensors.pdf)

В 2014 году в Москве пройдёт 25<sup>й</sup> Международный симпозиум по космическим терагерцевым технологиям (ISSTT 2014, <http://isstt2014.hse.ru/>), в организации которого коллектив лаборатории принимает участие, а В.П. Кошелец входит в состав организационного и программного комитета симпозиума.

#### 4.4. О приглашенных докладах (со ссылкой на сайт конференции).

Наиболее важные результаты работ были представлены и обсуждались практически на всех основных (отечественных и зарубежных) конференциях и симпозиумах, где участники проекта выступали с докладами (в том числе, и приглашенными). Например, М.А. Тарасов представлял приглашенные доклады на Международных симпозиумах Cryogenic Nanodevices, Bjorkliden, Kiruna, Sweden (2013, 2011, 2009, 2008, 2006). В.П. Кошелец выступал с приглашенными докладами на многих международных конференциях, в том числе: International Superconductive Electronics Conference (ISEC'91 - Glasgow, ISEC'07 – Washington), European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS'2001, Denmark), Applied Superconductivity Conference (ASC-2006, Seattle, USA; ASC-2008, Chicago, USA), Infrared, Millimeter Wave, and Terahertz Technologies (2010, Beijing, China), Международный симпозиум «Нанофизика и наноэлектроника» (Нижний Новгород, 2011 – пленарный доклад, 2012), Национальная конференция по прикладной сверхпроводимости (Москва, 2011 – пленарный доклад).