

СИНИС-болومتر с подвешенным абсорбером

© Авторы, 2017

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

Р.А. Юсупов – аспирант, МФТИ; инженер ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (Москва)

E-mail: yusupovrenat@hitech.cplire.ru

М.А. Тарасов – д.ф.-м.н., гл. науч. сотрудник, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (Москва)**В.С. Эдельман** – д.ф.-м.н., вед. науч. сотрудник, ИФП РАН (Москва)**М.Ю. Фоминский** – к.ф.-м.н., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (Москва)

Разработаны и изготовлены болометрические структуры сверхпроводник-изолятор-нормальный металл-изолятор-сверхпроводник (СИНИС) с подвешенными пленками нормального металла. В качестве нормального металла исследованы пленки Cu, Pd, Hf. Болометры интегрированы с планарными двойными щелевыми и логопериодическими антеннами. Оптимизирована конструкция и технология изготовления болометра, позволившая устранить подавление сверхпроводимости эффектом близости на краях туннельных переходов, граничащих с нормальным металлом. Измерены вольт-амперные характеристики при температурах 100-300 мК и оптический отклик на излучение черного тела.

Ключевые слова: сверхпроводимость, СИН-переход, болометр, изготовление подвешенных структур.

Поглощение терагерцевого излучения в структурах сверхпроводник – изолятор – нормальный металл – сверхпроводник – изолятор (СИНИС) вызывает увеличение электронной температуры нормального металла (абсорбера), которое можно зарегистрировать по увеличению туннельного тока [1]. Обычно для оценки чувствительности считают, что энергия поглощенного излучения эквивалентна нагреву постоянным током. Предполагается, что электронная система перегревается до некоторой повышенной электронной температуры T_e . В случае довольно высокой энергии фотона $hf \gg kT$ распределение энергии электронов сложным образом зависит от электрон-электронных, электрон-фононных, фонон-электронных, фонон-фононных взаимодействий и туннелирования возбужденных электронов через СИН-переход. Функция распределения электронов в таком случае существенно отличается от функции распределения Ферми. Если снизить утечку тепла через фононную систему в подложку и электроды путем грамотного проектирования абсорбера, квантовый отклик детектора может быть улучшен до величины $hf/(kT)$, вследствие увеличения числа возбужденных электронов.

Цель работы – создание болометра на основе СИНИС-структуры с подвешенным абсорбером для уменьшения теплоотвода в подложку, интегрированного в планарные антенны, предназначенного для работы в терагерцевом диапазоне излучения.

Ранее болометры изготавливались с абсорбером из тонкой пленки несверхпроводящего алюминия, лежащем на подложке [2], что влекло за собой большие утечки тепла и в подложку, и в электроды. Для электрона, который поглощает фотон с частотой 350 ГГц, время электрон-фононного и электрон-электронного взаимодействия составляет около 0,2 и 1 нс соответственно. Возбужденный электрон создает высокоэнергичные фононы, которые могут легко покинуть абсорбер, если он помещен на подложку или подключен к электродам из того же материала [3]. Использование поглощающего материала, отличного от материала электродов, может улучшить теплоизоляцию вследствие высокого несоответствия акустических импедансов и большого сопротивления Капицы между абсорбером и электродом.

В работе предлагается альтернативный дизайн СИНИС-болометров. Процесс изготовления несколько проще по сравнению с ранее используемой техникой теневого напыления. Пленки могут быть нанесены различными техниками напыления, такими как термическое испарение, электронно-лучевое испарение

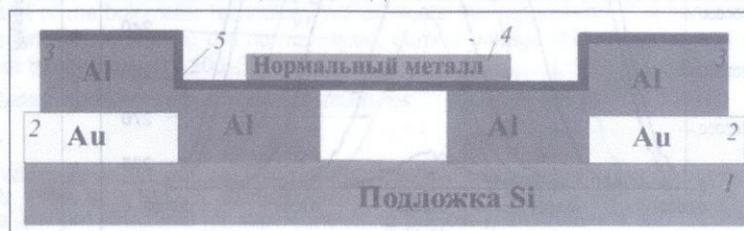


Рис. 1. Схематическое изображение новой конструкции болометра: 1 – кремниевая подложка; 2 – TiAuPd разводка и антенна; 3 – сверхпроводящий алюминий; 4 – нормальный абсорбер (медь, палладий, или гафний); 5 – окисел на поверхности алюминия

или магнетронное распыление. Структура обоих слоев может быть сделана с использованием простого процесса «взрывной» литографии. На рис. 1 показан схематический вид предлагаемой компоновки. В первую очередь, наносим TiAuPd-разводку и контактные площадки, далее наносится трехслойка Al/оксид/нормальный металл. В конце избирательно протравливаем слой алюминия под абсорбером в области, определяемой окном в резисте. Алюминий под мостиком полностью удаляется травлением в слабом основании (Microposit MF CD 26 developer).

В работе [4] исследованы СИНИС-болометры с ловушками для горячих квазичастиц, примыкающими к торцам сверхпроводящих электродов. Негативным эффектом такой близости стало частичное подавление сверхпроводимости на краях СИН-переходов и размытие формы ВАХ в районе энергетической щели. Для устранения такого эффекта технология изготовления была модифицирована с добавлением операции кислотного травления нормального металла, позволившая увеличить до 2 мкм расстояние от области туннельного перехода до нормального металла антенны. Также в дизайне были предусмотрены дополнительные подводящие провода, которые позволили более точно измерять характеристики структур по четырехзондовой схеме.

Измерения проводились при низких температурах (до 100 мК) в криостатах растворения. Измерения проводились в режиме задания тока. Характерная вольт-амперная характеристика (ВАХ) и дифференциальное сопротивление, измеренное при 300 мК, представлено на рис. 2.

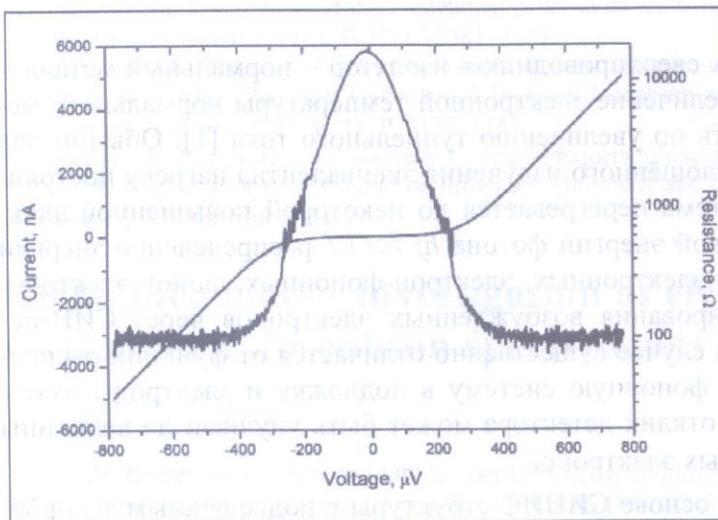


Рис. 2. Графическое представление ВАХ и дифференциального сопротивления СИНИС-болометра при температуре 300 мК

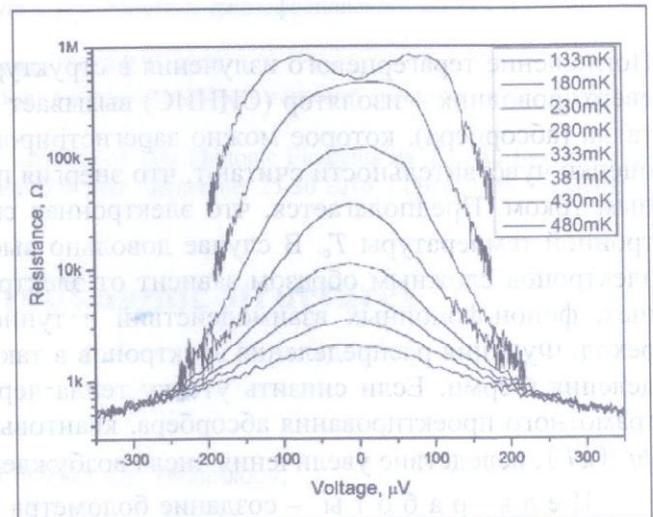


Рис. 3. Графики температурной зависимости дифференциального сопротивления в диапазоне 133–480 мК

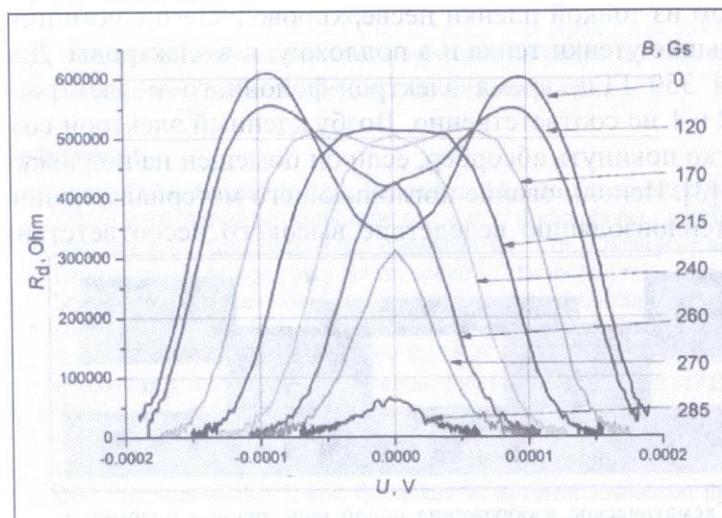


Рис. 4. Графики зависимости дифференциального сопротивления от внешнего магнитного поля

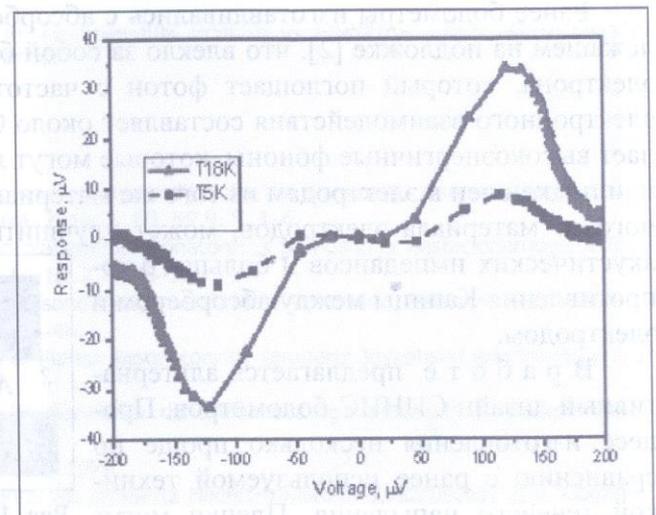


Рис. 5. Графическое представление оптического отклика болометра с гафниевым абсорбером

Снятие показаний происходило в автоматическом режиме с помощью программы Irteson с дальнейшей обработкой полученных экспериментальных данных. Также была измерена температурная зависимость динамического сопротивления в диапазоне температур 133...480 мК (рис. 3) Асимптотическое сопротивление соответствует двум СИН-переходам, участку абсорбера и подводящим проводам. Также на данной кривой виден характерный провал около нуля напряжения при низких температурах. Данный эффект указывает на присутствие андреевского отражения [5] в таких структурах. Для исследования этого эффекта была снята зависимость динамического сопротивления от магнитного поля (рис. 4).

Основная характеристика болометра – это отклик на внешнее излучение. Для оценки отклика изготовленных структур был исследован отклик на излучение черного тела. Исследовалась чувствительность болометра, интегрированного в двойную щелевую антенну. Дополнительно было проведено моделирование частотных характеристик используемой антенны в программном пакете CST Studio. Чувствительность по результатам проведенных измерений достигла величины 10^8 В/Вт (рис. 5).

● Результатом данной работы является разработка новой технологии изготовления болометров с СИН-переходами, которая позволяет решить часть технологических и принципиальных вопросов. Данная технология была нами успешно апробирована авторами для создания высокочувствительных болометров, которые могут составить конкуренцию уже традиционным болометрам на холодных электронах в терагерцевом и миллиметровом диапазоне частот.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект №14-02-91335 ННИО_а), научной школы НШ-8168.2016.2.

Литература

1. Kuzmin L., Chouvaev D., Tarasov M., Sundquist P., Willander M., Claeson T. On concept of normal metal hot-electron microbolometer for space applications // IEEE Trans. Appl. Supercond. 1999. V. 9. № 2. P. 3186–3189.
2. Tarasov M., Kuzmin L., Kaurova N. Thin multilayer aluminum structures for superconducting devices // Instruments and Experimental Techn. 2009. V. 52. № 6. P. 877–881.
3. Tarasov M., Edelman V., Ermakov A., Mahashabde S., Kuzmin L. Quantum efficiency of cold-electron bolometer optical response // IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol. 2015. V. 5. № 1. P. 44–48.
4. Tarasov M.A., Эдельман В.С., Фоминский М.Ю., Юсупов Р.А., Юргенс А. Криогенный болометр с подвешенным абсорбером // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 1. <http://jre.cplire.ru/jre/jan16/14/text.html>.
5. Селиверстов А.В., Тарасов М.А., Эдельман В.С. Влияние продольного магнитного поля на андреевскую проводимость структуры сверхпроводник–изолятор–нормальный металл // Письма в ЖЭТФ. 2016. Т. 103. №7. P. 547–551.

Поступила 5 декабря 2016 г.

SINIS bolometer with suspended absorber

© Authors, 2017

© Radiotekhnika, 2017

R.A. Yusupov – Post-graduate Student MIPT; Engineer, Kotelnikov IRE RAS (Moscow)

E-mail: yusupovrenat@hitech.cplire.ru

M.A. Tarasov – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Chief Research Scientist, Kotelnikov IRE RAS (Moscow)

V.S. Edelman – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Leading Research Scientist, P. Kapitza Institute for Physical Problems RAS

M.Yu. Fominsky – Ph.D. (Phys.-Math.), Kotelnikov IRE RAS (Moscow)

Bolometers structure superconductor-insulator-normal metal-insulator-superconductor (SINIS) with suspended absorbers are developed and fabricated. Cu, Pd, Hf are investigated as a normal metal film. Bolometers are integrated with planar double slot and log-periodic antennas. Optimized design and manufacture of the bolometer technology will eliminate the suppression of superconducting gap by proximity effect at the edges of the tunnel junctions bordering the normal metal. Current-voltage characteristics and optical response from blackbody radiation were measured at temperatures of 100–300 mK.

Keywords: superconductivity, SIN junction, bolometer, manufacturing suspended structures.

References

1. Kuzmin L., Chouvaev D., Tarasov M., Sundquist P., Willander M., Claeson T. On concept of normal metal hot-electron microbolometer for space applications // IEEE Trans. Appl. Supercond. 1999. V. 9. № 2. P. 3186–3189.
2. Tarasov M., Kuzmin L., Kaurova N. Thin multilayer aluminum structures for superconducting devices // Instruments and Experimental Techn. 2009. V. 52. № 6. P. 877–881.
3. Tarasov M., Edelman V., Ermakov A., Mahashabde S., Kuzmin L. Quantum efficiency of cold-electron bolometer optical response // IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol. 2015. V. 5. № 1. P. 44–48.
4. Tarasov M.A., Edelman V.S., Fominsky M.Yu., Yusupov R.A., Jurgens A. Kriogennyj bolometr s podveshennym absorberom // Zhurnal radioelektroniki. 2016. № 1. <http://jre.cplire.ru/jre/jan16/14/text.html>.
5. Seliverstov A.V., Tarasov M.A., Edelman V.S. Vliyanie prodol'nogo magnitnogo polja na andreevskuju provodimost' struktury sverhprovodnik–izoljator–normal'nyj metall // Pis'ma v ZhJeTF. 2016. T. 103. №7. R. 547–551.