

Исследование наногетероструктур с переходами сверхпроводник – полупроводник – нормальный металл

© Авторы, 2014

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2014

Д.В. Назирная – студент, МФТИ; инженер ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

М.А. Тарасов – д.ф.-м.н., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Изготовлены и исследованы болометры с барьером Шоттки из $Ti/TiO_2/Al$ и $Cr/CrO_2/Al$ вместо обычных болометров с туннельными СИН переходами; получены полупроводниковые зависимости температуры от нормального сопротивления для оксида титана и оксида хрома; на образцах с Ti была измерена оптическая мощность эквивалентная шуму на уровне $3,5 \cdot 10^{-17}$ Вт/Гц^{1/2}.

Ключевые слова: барьер Шоттки, оксид титана, оксид хрома, БХЭ, СИН.

Для изучения анизотропии фонового космического излучения, исследования его поляризации и интенсивности разрабатываются баллонные и космические проекты, такие как BOOMERanG, OLIMPO, MILLIMETRON. Для этих проектов могут быть использованы болометры на холодных электронах (БХЭ), состоящие из сверхпроводящих электродов и нормального абсорбера, которые соединены через туннельный переход. В БХЭ реализовано несколько функций туннельного СИН (сверхпроводник – изолятор – нормальный металл) перехода: измерение температуры, высокочастотная связь с интегрированной антенной, эффективная тепловая изоляция и электронное охлаждение. Отклик болометров достаточно велик за счет маленького объема абсорбера и низкой температуры. БХЭ имеют мощность, эквивалентную шуму на уровне 10^{-19} Вт/Гц^{1/2}.

Образцы изготавливались на электронном литографе в несколько слоев, содержащих контактные площадки, защитные резисторы, антенну и слой с болометрами (переходами). Для формирования переходов использовалась установка с термическим напылением. Образцы напылялись по теневой технологии, т.е. материалы напылялись под тремя разными углами через подвешенную маску.

Традиционно туннельные переходы формируются из оксида алюминия. Болометры, изготовленные по стандартной технологии с туннельными переходами из оксида алюминия [1] показывают оптическую мощность, эквивалентную шуму на уровне $2 \cdot 10^{-17}$ Вт/Гц^{1/2} (МЭШ), и электрическую мощность, эквивалентную шуму на уровне $2 \cdot 10^{-18}$ Вт/Гц^{1/2}. Для увеличения прозрачности барьера и уменьшения сопротивления исследовались различные материалы и их комбинации. В данном случае рассмотрены альтернативные материалы для изготовления БХЭ, которые могут послужить заменой для алюминия, так как у него имеются как технологические, так и электрофизические недостатки. К технологическим недостаткам можно отнести сложность при подавлении сверхпроводимости алюминия, процесс формирования окисного слоя и чистоту материала. Электрофизические недостатки – понижение высокого барьера алюминия и большое сопротивление переходов.

В качестве альтернативных материалов рассмотрены Ti (с предполагаемой высотой барьера в 150 мэВ) и Cr (с ожидаемым барьером в 20 мэВ) [2, 3].

Были изготовлены образцы с переходами из $Al/TiO_2/Ti/TiO_2/Al$ и $Al/CrO_2/Cr/CrO_2/Al$. При измерениях были получены ВАХ, сильно отличающиеся от симметричных характеристик для стандартных образцов с Al. ВАХ для этих материалов асимметричны и похожи на характеристики для барьера Шоттки (рис. 1).

Переходы с барьером Шоттки могут быть использованы в болометрах на холодных электронах (БХЭ) вместо туннельных СИН переходов. Структуры с переходами из $Al/TiO_2/Ti/TiO_2/Al$ и

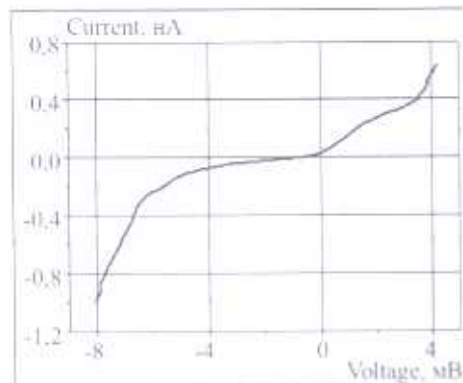


Рис. 1. Асимметричная ВАХ одиночного перехода $Al/TiO_2/Ti$

Al/CrO₂/Cr/CrO₂/Al были измерены в широком диапазоне температур: от 0,06 до 300 К. Оптический отклик для БХЭ с барьером Шоттки из TiO₂ показал хорошее значение чувствительности и эквивалентной мощности шума на центральной частоте 350 ГГц.

Первый материал, который использовали для создания барьера, – оксид титана TiO₂. Были изготовлены и измерены несколько болометров с переходами из TiO₂. Для них был измерен МЭШ на уровне $3,5 \cdot 10^{-17}$ Вт/Гц^{1/2}, но динамическое сопротивление в нуле составляет 10 МОм, что является достаточно высоким по сравнению с оптимальным значением [4].

Образцы с Ti изготавливались методами фотолитографии и прямого термического напыления. Для изучения свойств барьера были сделаны более 50 образцов с разными режимами окисления Ti. Он окислялся от 1 до 13 ч при различных температурах: комнатной температуре, при 90, 130 и 150 °С.

Первой особенностью при измерении изготовленных образцов, является то, что асимптотическое сопротивление при охлаждении от 300 до 3 К увеличивается более чем в 1000 раз.

Измерения показали, что зависимость температуры от асимптотического сопротивления очень сильная, она повторяет зависимость для полупроводников (рис. 2).

Также были изучены оксиды хрома; изначально окисел хрома рассматривался как кандидат для формирования туннельного барьера [5] вместо алюминия. При изготовлении образцов для формирования барьера из оксида хрома было исследовано несколько способов изготовления: термическое напыление хрома в кислороде, термическое напыление и окисление хрома, а также различные комбинации напыления хрома в кислороде и его окисления. Было изготовлено и измерено более 20 образцов. Все образцы показали типичную полупроводниковую температурную зависимость (рис. 3), однако отношение сопротивлений было значительно меньше, чем в образцах с окислом титана. Таким образом, видно, что контакт алюминия с оксидом титана и оксидом хрома дает барьер Шоттки.

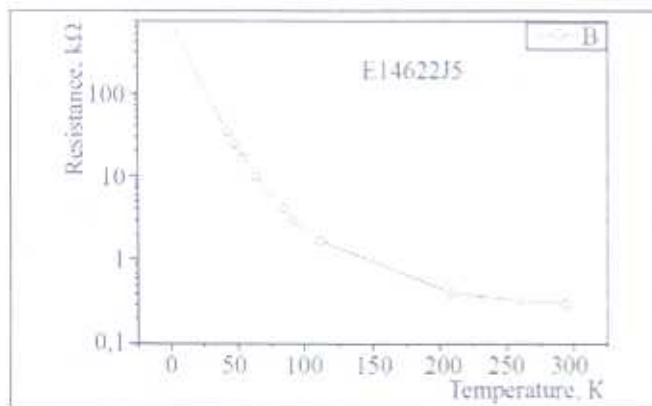


Рис. 2. Зависимости нормального сопротивления от температуры для образца с TiO₂

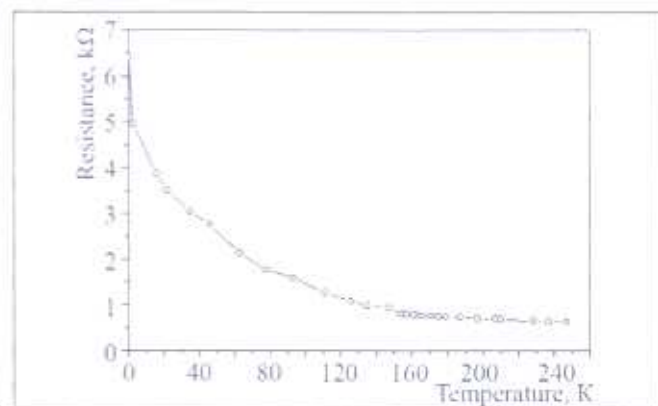


Рис. 3. Зависимости нормального сопротивления от температуры для образца с CrO₂

Литература

1. Leonid S. Kuzmin (2012). Cold-Electron Bolometer / Bolometers. Prof. Unil. Perera (Ed.) <http://www.intechopen.com/books/bolometers/cold-electron-bolometers>
2. Otto E., Tarasov M., Kuzmin L. Ti–TiO₂–Al normal metal–insulator–superconductor tunnel junctions fabricated in direct-write technology // Supercond. Sci. Technol. 2007. V. 20. 085020.
3. Kuzmin L.S., Pashkin Yu.A., Tavkhelidze A.N., Ahlers F.J., Weimann T. An all-chromium single electron transistor: A possible new element of single electronics // Appl. Phys. Lett. V. 68, № 20, 13 May 1996.
4. Otto E., Tarasov M., Grimes P. et al. Optical response of a titanium-based cold-electron bolometer // Supercond. Sci. Technol. 2013. V. 26. P. 865.
5. Kuzmin L. S., Pashkin Yu. A., Pekola J. P. Fabrication and characterization of chromium based single-electron transistors with evaporated chromium oxide barrier tunnel junctions // J. Vac. Sci. Technol. B, 1999. V. 17, № 4.

Al/CrO₂/Cr/CrO₂/Al были измерены в широком диапазоне температур: от 0,06 до 300 К. Оптический отклик для БХЭ с барьером Шоттки из TiO₂ показал хорошее значение чувствительности и эквивалентной мощности шума на центральной частоте 350 ГГц.

Первый материал, который использовали для создания барьера, – оксид титана TiO₂. Были изготовлены и измерены несколько болометров с переходами из TiO₂. Для них был измерен МЭШ на уровне $3,5 \cdot 10^{-17}$ Вт/Гц^{1/2}, но динамическое сопротивление в нуле составляет 10 МОм, что является достаточно высоким по сравнению с оптимальным значением [4].

Образцы с Ti изготавливались методами фотолитографии и прямого термического напыления. Для изучения свойств барьера были сделаны более 50 образцов с разными режимами окисления Ti. Он окислялся от 1 до 13 ч при различных температурах: комнатной температуре, при 90, 130 и 150 °С.

Первой особенностью при измерении изготовленных образцов, является то, что асимптотическое сопротивление при охлаждении от 300 до 3 К увеличивается более чем в 1000 раз.

Измерения показали, что зависимость температуры от асимптотического сопротивления очень сильная, она повторяет зависимость для полупроводников (рис. 2).

Также были изучены оксиды хрома; изначально окисел хрома рассматривался как кандидат для формирования туннельного барьера [5] вместо алюминия. При изготовлении образцов для формирования барьера из оксида хрома было исследовано несколько способов изготовления; термическое напыление хрома в кислороде, термическое напыление и окисление хрома, а также различные комбинации напыления хрома в кислороде и его окисления. Было изготовлено и измерено более 20 образцов. Все образцы показали типичную полупроводниковую температурную зависимость (рис. 3), однако отношение сопротивлений было значительно меньше, чем в образцах с окислом титана. Таким образом, видно, что контакт алюминия с оксидом титана и оксидом хрома дает барьер Шоттки.

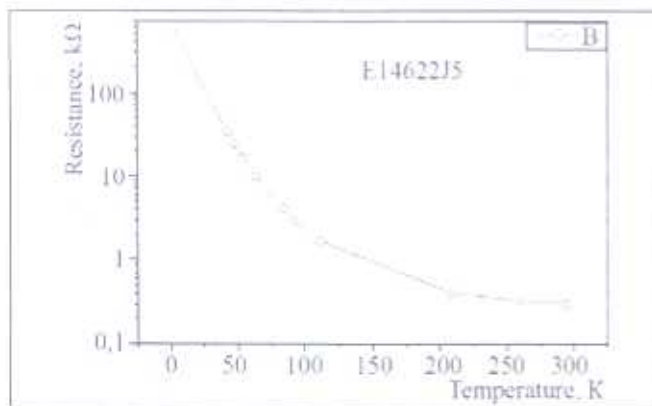


Рис. 2. Зависимости нормального сопротивления от температуры для образца с TiO₂

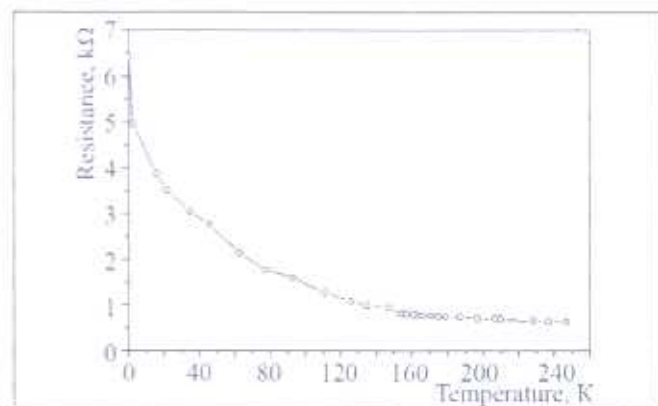


Рис. 3. Зависимости нормального сопротивления от температуры для образца с CrO₂

Литература

1. Leonid S. Kuzmin (2012), Cold-Electron Bolometer / Bolometers. Prof. Univ. Perera (Ed.) <http://www.intechopen.com/books/bolometers/cold-electron-bolometers>
2. Otto E., Tarasov M., Kuzmin L. Ti-TiO₂-Al normal metal-insulator-superconductor tunnel junctions fabricated in direct-write technology // Supercond. Sci. Technol. 2007. V. 20. 085020.
3. Kuzmin L.S., Pashkin Yu.A., Tavkhelidze A.N., Ahlers F.J., Weimann T. An all-chromium single electron transistor: A possible new element of single electronics // Appl. Phys. Lett. V. 68, № 20, 13 May 1996.
4. Otto E., Tarasov M., Grimes P. et al. Optical response of a titanium-based cold-electron bolometer // Supercond. Sci. Technol. 2013. V. 26. P. 865.
5. Kuzmin L. S., Pashkin Yu. A., Pekola J. P. Fabrication and characterization of chromium based single-electron transistors with evaporated chromium oxide barrier tunnel junctions // J. Vac. Sci. Technol. B, 1999. V. 17, № 4.

Experimental studies of nanoheterostructures with superconductor-semiconductor junctions

© Authors, 2014

© Radiotekhnika, 2014

D.V. Nagirnaia – Student, MPTI, Engineer, Kotel'nikov Institute of Radio Engineering, and Electronics Russian Academy of Sciences

M.A. Tarasov – Dr.Sc. (Phis.-Math.), Professor, Leading Reseracher, Kotel'nikov Institute of Radio Engineering, and Electronics Russian Academy of Sciences

Fabricated and tested bolometers with titanium oxide and chromium oxide Schottky barrier instead of the conventional SIN bolometers with transitions. During measurements were obtained semiconductor temperature dependence of asymptotic resistance. Noise equivalent power for TI samples $3,5 \cdot 10^{-17}$ W/Hz^{1/2}.

Keywords: *schottky barrier, titanium oxide, chromium oxide, SIN, CEB.*

REFERENCES

1. Leonid S. Kuzmin (2012). Cold-Electron Bolometer // Bolometers, Prof.UnilPerera (Ed.), InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/bolometers/cold-electron-bolometers>
2. Otto E., Tarasov M., Kuzmin L. Ti-TiO₂-Al normal metal-insulator-superconductor tunnel junctions fabricated in direct-write technology, Supercond. Sci.Technol., 20 (2007) 085020.
3. Kuzmin L.S., Pashkin Yu.A., Tavkhelidze A.N., Ahlers F.J., Weimann T. An all-chromium single electron transistor: A possible new element of single electronics // Appl.Phys.Lett. V. 68, № 20. 13 May 1996.
4. Otto E., Tarasov M., Grimes P.et al. Optical response of a titanium-based cold-electron bolometer // Supercond. Sci.Technol. 2013. 26. 865.
5. Kuzmin L. S., Pashkin Yu. A., Pekola J. P. Fabrication and characterization of chromium based single-electron transistors with evaporated chromium oxide barrier tunnel junctions // J.Vac.Sci.Technol. B. V. 17. № 4. 1999.

НЕЛИНЕЙНЫЙ

МИР

№ 2, т.12, 2014

$$\frac{d^{\alpha}}{d x^{\alpha}}, \alpha = \frac{m}{n}$$



тел./факс: (495) 625-9241
e-mail: info@radiotec.ru