

УДК 539.231

ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТОНКИХ ПЛЕНОК WSi, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Татьяна Григорьевна Константинова⁽¹⁾, Елизавета Ильинична Малеванная⁽²⁾, Денис Дмитриевич Васильев⁽³⁾

Студент 3 курса⁽¹⁾, магистр 2 года⁽²⁾, аспирант 3 года⁽³⁾

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: К.М.Моисеев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Исследование направлено на решение проблемы выбора наиболее подходящих сверхпроводящих материалов для создания чувствительных детекторов электромагнитного излучения инфракрасного (ИК)диапазона. В особенности, рассматривается актуальность использования плёнок WSi в сверхпроводниковых фотонных детекторах (SSPD или SNSPD), их преимущества и потенциальные возможности.

При выборе материала для сверхпроводящего элемента немаловажным фактором является технологичность получения гомогенной структуры. В отличие от NbN и NbTiN, WSi обладает аморфной структурой и низким значением запрещённой зоны, что позволяет создавать детекторы с высоким уровнем эффективности обнаружения (DE). Потенциальное значение DE в плёнках WSi может достигать 100% [1]. Аморфность плёнок WSi позволяет наносить их на любой материал подложки и получать детекторы большой площади [2].

В отличие от плёнок WSi, плёнки NbN показывают высокую эффективность только при токе смещения, близком к критическому. Данный фактор может иметь негативные последствия при объединении детекторов в общий массив, когда перекрещения полей могут вызвать ложные срабатывания [3].

В работе [3] 64-х пиксельный массив SNSPD на основе WSi показал эффективность обнаружения системы свободного пространства 50% при 1550 нм. При этом данный массив позволяет считывать информацию с частотой 1,2 ГГц.

Значительным успехом является получение эффективности обнаружения более 90% в однофотонных детекторах, основанных на аморфных плёнках WSi. В работе [2] приведена зависимость DE от тока смещения I_b , длины волны λ и критической температуры (T_c).

Тем не менее, в настоящее время реальные устройства не могут одновременно совмещать высокие показатели производительности записи. Основная причина этого — отсутствие полного понимания механизма обнаружения фотонов.

Механизм обнаружения в SSPD связан с образованием резистивного состояния в токопроводящей сверхпроводящей структуре и может быть изучен в режиме двухфотонного детектирования.

В работе [4] Приводится сравнительная характеристика WSi и NbN по следующим показателям: эффективность энергетического осаждения δ , описывающая уровень возбуждения в горячей точке и зависящая от энергии поглощаемых фотонов; параметр затухания γ (отношение времени попадания фотона на поверхность к времени рассеяния фононного электрона) и характерное время электрон-фононной релаксации

τ_0 , зависящее от материала. Также были доказаны экспериментально следующие зависимости: влияние тока смещения на режим работы детектора (одно- или двухфотонный режим), диапазоны смены режимов для плёнок WSi, влияние тока смещения I_b , температур перехода T_c и длины падающего излучения на изменение времени релаксации.

Исследование [5] показало, что электрон-фононная релаксация в плёнках WSi оказалась медленней по сравнению с плёнками NbN и NbTiN.

Определение энергии, при которой происходит релаксация, связано с электрон-фононным взаимодействием, при котором происходит затухание (эффект «бутылочного горлышка»), и зависит от точной оценки данного затухания (параметра затухания) [6].

Важным является выявление зависимости тока смещения и критической температуры на выходные параметры плёнки, а именно на энергию разрыва электронных пар [5].

Таким образом, влияние тока смещения и критической температуры тонкой плёнки на выходные параметры готового изделия было выявлено в ряде вышеупомянутых работ.

Задачей дальнейшего исследования является определение связи между параметрами процесса формирования плёнки и параметрами самой плёнки для увеличения эффективности, работоспособности и скорости регистрирования фотонов готового сверхчувствительного элемента детектора. Тем самым целью последующих работ является формирование детекторов под конкретную задачу с необходимыми исходными характеристиками.

Литература

1. V.A. Seleznev, A.V. Divochiy, Yu.B. Vakhtomin, P.V. Morozov, P.I. Zolotov, D.D. Vasil'ev, K.M. Moiseev, E.I. Malevannaya and K.V. Smirnov Superconducting detector of IR single-photons based on thin WSi films. Jun 2016 · Journal of Physics Conference Series.
2. Marsili, F., et al., Detecting single infrared photons with 93% system efficiency. Nat Photon, 2013. 7: p. 210.
3. M.D. Shaw, et al., A near-infrared 64-pixel superconducting nanowire single photon detector array with integrated multiplexed readout. Applied Physics Letters 106, 192601 (2015); 10.1063/1.4921318.
4. F. Marsili, et al., Hotspot relaxation dynamics in a current-carrying superconductor. Phys. Rev. B 93, 094518 (2016).
5. A.G. Kozorezov, et al, Quasiparticle recombination in hotspots in superconducting current-carrying nanowires, Phys. Rev. B 92, 064504 (2015).
6. Sidorova M., Semenov A., Korneev A., Chulkova G. M., Korneeva Y., Mikhailov M., Devizenko A., Kozorezov A., Goltsman G. Electron-phonon relaxation time in ultrathin tungsten silicon film / Cornell University. Series cond-mat "arxiv.org". 2016. No. 1607.07321.