慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	超伝導ナノワイヤー共振器を用いた超流動ヘリウムにおける量子渦の検出
Sub Title	Investigation of quantized vortex in superfluid helium using superconducting nanowire resonator
Author	永合, 祐輔(Nago, Yusuke)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2018
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2017.)
JaLC DOI	
Abstract	超流動ヘリウム中における量子乱流を引き起こす量子渦糸の運動状態の解明に向け, 架橋型カーボンナノチューブ(CNT)を用いた超伝導ナノワイヤー(scNW)共振器の開発を行った。アンダーカットを含むトレンチ構造の上に架橋させたCNTにNbN薄膜を蒸着することでscNW共振器の作製を行ったが, プロセス途中にトレンチエッジ部に作製するNiマスクのバリが残る問題があった。そこで, フォトリソグラフィのためのレジストをLOR 5A/AZ5214Eの2層構造にすることで, NMPリフトオフ時にバリを残さず取り除けるよう改善した。また, トレンチ構造作製過程で作製した電子線描画用レジストレーションマーク(REG)では, CNT成長用の触媒Coの描画精度があまりよくなかった。そこでREGをトレンチ作製前に予めTi/Au蒸着で作製することで, より高精度に触媒蒸着位置を定められるようになった。これらの改善に加え, CVD装置におけるCNT成長条件を調整することで, 新たに長さ13umまで長い直径100nmビーム型架橋scNW共振器の作製に成功し, 量子渦の挙動を検出するのに十分な高振幅振動が期待できるデバイスが実現できた。シミュレーション計算から, 基本共振モード周波数は3.14MHzと見積もられた。一方で, 高振幅デバイス実現のためアーチ型scNWの作製にも取り組んだが, アーチ状にCNTを成長させることはできたものの, それを制御して架橋させるまでは至らなかった。制御方法の確立が課題である。上記のビーム型scNWを東大低温センターにて冷凍機を用いて抵抗の温度依存測定を行ったところ, 超伝導相転移(Tc ~ 15K)を観測し, 正常にscNWが完成していることを確認した。さらに, scNWの共振テスト実験に向け, 高周波で使用できるチップ抵抗や同軸ケーブルなどの部品を購入し, 冷凍機内の配線および電子回路を新たに作製した。現在共振テストおよび液体ヘリウムにおける実験に向けた準備が進行中である。 I developed a superconducting nanowire (scNW) resonator based on a bridged carbon nanotube (CNT), for elucidation of dynamics of quantum vortex lines causing quantum turbulence in superfluid helium. The scNW was fabricated by sputtering NbN film directly on the CNT bridged over a trench structure with undercut. However, there was a problem of burr of a Ni mask remaining on the trench edge during the fabrication processes. I solved it by devising bilayer photoresist with LOR 5A/AZ 5214E, in which the burr structure can be completely removed in the NMP lift-off process. On top of that, the problem of alignment accuracy of e-beam lithography by registration marks formed via the trench fabrication process was improved by preliminary deposition of the mark with Ti/Au before the trench fabrication. Moreover, setting conditions of CNT growth in the CVD process enabled to fabricate a long beam-shaped scNW resonator with a diameter of 100 nm and a length up to 13 um, expecting high amplitude oscillation. A numerical simulation revealed a fundamental mode frequency of the long scNW to be 3.14 MHz. In contrast, an arch-shaped scNW was not bridged over the trench though a CNT was grown in arch shape, which requires to be improved. I measured a temperature dependence of electrical resistivity of the beam-shaped scNW using a cryostat and found a superconducting transition temperature to be ~15 K. I purchased chip resistors and coaxial cables for high frequency measurements and prepared the wiring of the cables in the cryostat and electronic circuits. Preparation of operation check test of the scNW and experiments using liquid helium are ongoing.
Notes	
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2017000001-20170224

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

2018 年 4 月 9 日

2017 年度　学事振興資金（個人研究）研究成果実績報告書

研究代表者	所属	理工学部	職名	助教	補助額	300 （A） 千円
	氏名	永合 祐輔	氏名（英語）	Yusuke Nago		

研究課題（日本語）

超伝導ナノワイヤー共振器を用いた超流動ヘリウムにおける量子渦の検出

研究課題（英訳）

Investigation of Quantized Vortex in Superfluid Helium using Superconducting Nanowire Resonator

１．研究成果実績の概要

超流動ヘリウム中における量子乱流を引き起こす量子渦糸の運動状態の解明に向け、架橋型カーボンナノチューブ(CNT)を用いた超伝導ナノワイヤー(scNW)共振器の開発を行った。アンダーカットを含むトレンチ構造の上に架橋させた CNT に NbN 薄膜を蒸着することで scNW 共振器の作製を行ったが、プロセス途中にトレンチエッジ部に作製する Ni マスクのバリが残る問題があった。そこで、フォトリソグラフィのためのレジストを LOR 5A/AZ5214E の 2 層構造にすることで、NMP リフトオフ時にバリを残さず取り除けるよう改善した。また、トレンチ構造作製過程で作製した電子線描画用レジストレーションマーク(REG)では、CNT 成長用の触媒 Co の描画精度があまりよくなかった。そこで REG をトレンチ作製前に予め Ti/Au 蒸着で作製することで、より高精度に触媒蒸着位置を定められるようになった。これらの改善に加え、CVD 装置における CNT 成長条件を調整することで、新たに長さ 13um まで長い直径 100nm ビーム型架橋 scNW 共振器の作製に成功し、量子渦の挙動を検出するのに十分な高振幅振動が期待できるデバイスが実現できた。シミュレーション計算から、基本共振モード周波数は 3.14MHz と見積もられた。一方で、高振幅デバイス実現のためアーチ型 scNW の作製にも取り組んだが、アーチ状に CNT を成長させることはできたものの、それを制御して架橋させるまでは至らなかった。制御方法の確立が課題である。上記のビーム型 scNW を東大低温センターにて冷凍機を用いて抵抗の温度依存測定を行ったところ、超伝導相転移(Tc～15K)を観測し、正常に scNW が完成していることを確認した。さらに、scNW の共振テスト実験に向け、高周波で使用できるチップ抵抗や同軸ケーブルなどの部品を購入し、冷凍機内の配線および電子回路を新たに作製した。現在共振テストおよび液体ヘリウムにおける実験に向けた準備が進行中である。

２．研究成果実績の概要（英訳）

I developed a superconducting nanowire(scNW) resonator based on a bridged carbon nanotube(CNT), for elucidation of dynamics of quantum vortex lines causing quantum turbulence in superfluid helium. The scNW was fabricated by sputtering NbN film directly on the CNT bridged over a trench structure with undercut. However, there was a problem of burr of a Ni mask remaining on the trench edge during the fabrication processes. I solved it by devising bilayer photoresist with LOR 5A/AZ 5214E, in which the burr structure can be completely removed in the NMP lift-off process. On top of that, the problem of alignment accuracy of e-beam lithography by registration marks formed via the trench fabrication process was improved by preliminary deposition of the mark with Ti/Au before the trench fabrication. Moreover, setting conditions of CNT growth in the CVD process enabled to fabricate a long beam-shaped scNW resonator with a diameter of 100 nm and a length up to 13 um, expecting high amplitude oscillation. A numerical simulation revealed a fundamental mode frequency of the long scNW to be 3.14 MHz. In contrast, an arch-shaped scNW was not bridged over the trench though a CNT was grown in arch shape, which requires to be improved. I measured a temperature dependence of electrical resistivity of the beam-shaped scNW using a cryostat and found a superconducting transition temperature to be ~15 K. I purchased chip resistors and coaxial cables for high frequency measurements and prepared the wiring of the cables in the cryostat and electronic circuits. Preparation of operation check test of the scNW and experiments using liquid helium are ongoing.

３．本研究課題に関する発表

発表者氏名 （著者・講演者）	発表課題名 （著書名・演題）	発表学術誌名 （著書発行所・講演学会）	学術誌発行年月 （著書発行年月・講演年月）
Yusuke Nago	Nanomechanical Resonator based on Carbon Nanotube for Study of Superfluid He	International Conference on Ultra Low Temperature Physics	2017 年 8 月
永合　祐輔	超流動流れ場検出のための架橋ナノワイヤー共振器の開発	日本物理学会 2017 年秋季大会	2017 年 9 月
Keiya Shirahama	Nanomechanical Resonator based on Carbon Nanotube for Probing Superfluidr Flow	The International Workshop on Electrons and Ions in Quantum Fluids and Solids	2018 年 3 月
永合　祐輔	超流動ヘリウムにおける量子渦・量子乱流発生機構の実験的解明	日本物理学会第 73 年次大会	2018 年 3 月