

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25706029

研究課題名(和文) 超伝導共振器アレイを用いた位置分解可能な食品用放射線検出器の開発

研究課題名(英文) Spatial resolving gamma-ray detector arrays relying on superconducting microresonators for food screening system

研究代表者

成瀬 雅人 (NARUSE, Masato)

埼玉大学・理工学研究科・助教

研究者番号：10638175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、食品中の放射線量検出システムに使用する超伝導検出器アレイの基礎開発である。本研究で開発する放射線検出器の特徴は高速動作・高感度かつ位置分解可能な点にある。100素子規模で90%以上の高い歩留りを持つデバイスを実現するとともに、裏面に鉛吸収体を張り付けたデバイスを用いて、Cs-137から放射される662 keVの放射線の検出に成功した。実験には0.3 K冷凍機を用い、3.7 keVのエネルギー分解能と3.5 us程度の動作時間であることを明らかにした。本課題で提案する放射線検出器システムの原理実証に成功した。

研究成果の概要(英文)：We have been developing gamma-ray detectors relying on superconducting resonators. Since these detectors can be largely multiplexed and show potential for quick response time, high spatial resolution, and high energy resolution, the proposed detectors could be suitable for use as food-screening systems.

The superconducting resonators were fabricated with a niobium on a silicon wafer. We demonstrated 96 pixel arrays on a 20mm by 12 mm chip. The detectors were coupled to a 2-mm-thick lead absorber. We operated them in a 0.3 K cryostat and examined their characteristics against gamma-rays radiated from a cesium 137 source. We found that the detectors' response time was around 3.6 micro second and the detector had the energy resolution of 3.8 keV at 662 keV.

研究分野：超伝導工学

キーワード：超伝導検出器 放射線検出器 力学インダクタンス検出器

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した福島第一原発事故によって、大量の放射性セシウム並びにヨウ素が福島県近海並びに土壌へ拡散したため、農産物並びに海産物には放射性物質濃度の新基準値(100Bq/Kg)が平成24年4月に設けられた(厚生労働省 食品中の放射性物質の新たな基準値について)。セシウム134の半減期は2年と短いセシウム137の半減期は30年あり、今後数十年間は食品中の放射線量を検査し続ける必要がある。

食品中の放射性セシウム(Cs-134, Cs137)検査法は、厚生労働省によって定められており(食安発0315第4号)この通達に従って放射性物質が含まれやすいとされる指定品目を中心に抽出検査を行い、基準値を超すと判定された食品に対してはその地域で収穫したものは全て出荷できなくなる。検査は完全に鉛で遮蔽された空間内で液体ヘリウムで冷却したゲルマニウム半導体によって行われるため、測定には非常に多くの手間と時間がかかり全数検査をすることは物理的に困難であった。

2. 研究の目的

食品、特に農作物や魚介類中に含まれる放射線量検出システムの性能を向上させることができるような、高速動作・高感度でかつ位置分解可能な放射線検出器の開発を目的とする。放射線検出器には、機械式冷凍機で容易に到達可能な4Kでも高感度化が期待できる超伝導共振器の特性を利用した検出器(MKID: Microwave Kinetic Inductance Detector)とガンマ線吸収体を組み合わせる(図1)。本研究で提案する放射線検出器は世界でもまだ動作実証が行われていないため、検出原理の検証及び検出器特性を明らかにし、超伝導検出器を用いた放射線検出器システムの初期開発を行う。

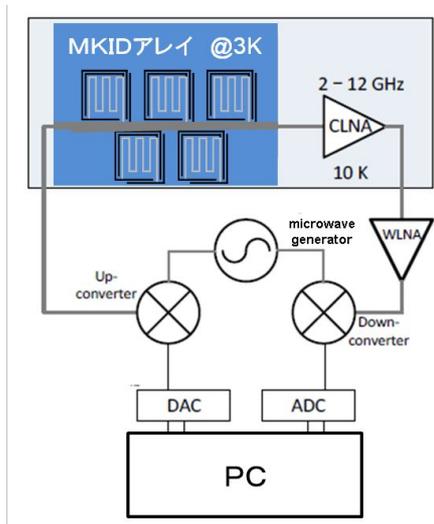


図1: 超伝導センサ(MKID)アレイの断面図(上)と放射線検出器システムの構成案。周波数多重読出しによって1つのケーブルで256素子が動作する。

3. 研究の方法

(1) 1 K 以下の極低温動作が必要であるが高感度が期待できるニオブを用いて100素子規模での動作実証を行うとともに、エネルギー分解能、動作速度などの測定技術を確立する。

(2) 検出器システムの運用コストを下げるため、より高い温度で動作するような超伝導材料の探索を行う。

4. 研究成果

(1) 20mm x 12 mm の1チップに100素子規模で90%以上の高い歩留りを有する素子の開発に成功した(図2)。

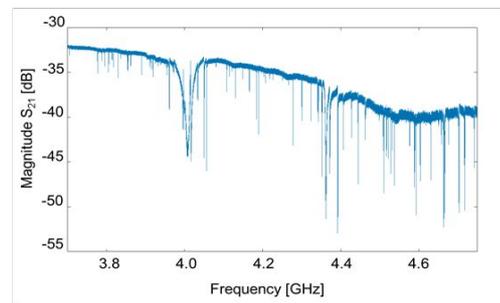
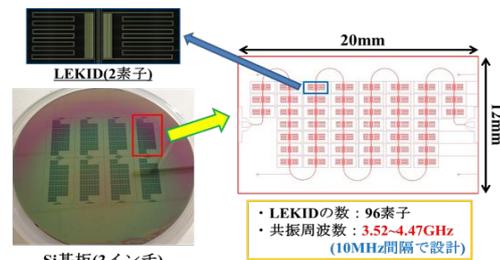


図2: 作成した96素子放射線検出器(上)とその共振特性(下)

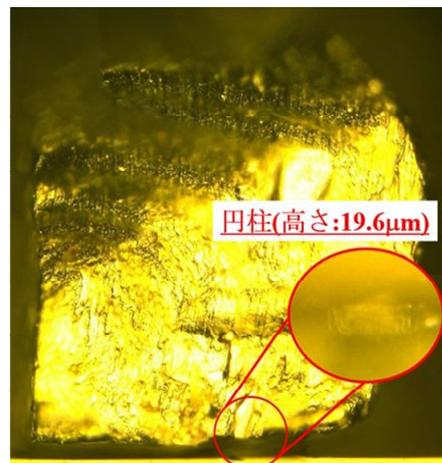


図3: シリコン基板加工によるマッシュルーム型検出器の側面図。高さ20 μm, 直径90 μmのシリコン円柱状に約0.5 mm角の鉛吸収体を接着してある。

超伝導膜には 100 nm 厚ニオブを用い、集中定数型の共振器構造を採用した。超伝導膜の転移温度は 8 K 以上であり、0.5 K で動作させた。さらに、X 線検出用の超伝導転移端センサなどで検出器感度を高めるために用いられる、マッシュルーム構造作製方法を検討した。検出器裏面のシリコン基板を深堀エッチング技術により加工することで、鉛吸収体を支えるのに必要となる極小な柱の構造の作製に成功した(図3)。

0.3 K 冷凍機を用いて、8 K の転移温度を持つニオブで検出器を作製し、裏面に鉛吸収体を張り付けたデバイスを用いて、Cs-137 から放射される 662 keV の放射線の検出に成功し、本研究で提案する技術の実証に成功した。実験で得られた検出器の性能は、3.7 keV の分解能と 3.5 μ s 程度の動作時間であった(図4)。この成果を学術論文に投稿し、現在査読中である。

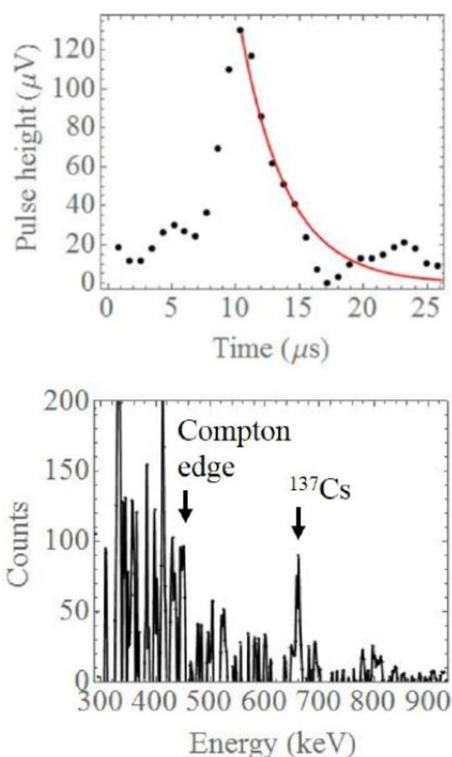


図4:セシウム137から放射された662 keVのガンマ線の検出イベント(上)、同じ放射線源を用いたときのエネルギースペクトラム(下)。緩和時間は3.5 μ s、エネルギー分解能は3.7 keVであった。

(2) より安価な冷凍機でのシステム構築を目的として、4.2 K 動作可能な高温超伝導体の模索を行った。77 K 以上の転移温度を持つ YBCO を用いた検出器の動作実証を行った結

果、共振Q値が 1500 程度と想定定の 10 分の 1 程度しかなかった。この低いQ値の原因として、超伝導膜がデバイス作製時にダメージを

受け転移温度が低くなったことが考えられたため、超伝導膜保護のため in-situ で膜表面に金を付ける、ドライエッチングからウェットエッチングへの変更などを実施し、転移温度の劣化は抑えられることを示した。また、90%以上の高い歩留りで素子の動作は確認できたが共振Q値の改善はみられず放射線検出には至らなかった。

(3) 開発する検出器が量子線に対する十分な耐性を持つかを調べるために、アルミを用いた超伝導共振器に陽子線(160 MeV)の照射実験を行った。共振Q値、検出感度ともに劣化しないことを示し学術論文として発表した。また検出器アレイの同時読出に必要な回路の開発を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

(1) K. Karatsu, A. Dominjon, T. Fujino T. Funaki, M. Hazumi, F. Irie, H. Ishino, Y. Kida, T. Matsumura, K. Mizukami, M. Naruse, T. Nitta, T. Noguchi, N. Oka, S. Sekiguchi, Y. Sekimoto, M. Sekine, S. Shu, Y. Yamada, T. Yamashita, "Radiation Tolerance of Aluminum Microwave Kinetic Inductance Detector", Journal of Low Temperature Physics, refereed, Volume 184, Issue 3, pp 540-546, (2016)

(2) 久保田立記, 成瀬雅人, 田井野徹, 明連広明, 「高温超伝導体を用いた放射線検出器の開発」, 信学技報, 査読無, 116(175), pp 13-17, (2016).

(3) 成瀬雅人, 宮本法明, 田井野徹, 明連広明, 「超伝導マイクロ共振器による放射線検出器の開発」, 信学技報, 査読無, 114(247), pp 39-42, (2014).

〔学会発表〕(計 9 件)

(1) 久保田立記, 成瀬雅人, 田井野徹, 明連広明, 「高温超伝導体を用いた放射線検出器の開発」, 超伝導エレクトロニクス研究会, 8月8日, 埼玉大学(さいたま市), (2016).

(2) 成瀬雅人, 宮本法明, 田井野徹, 明連広明, 「超伝導共振器アレイによるガンマ線イメージングカメラの開発」, 第75回応用物理学会学術講演会, 9月17-20日 北海道大学(札幌市) (2014).

(3) M. Naruse, N. Miyamoto, T. Taino, and H. Myoren. "Superconducting gamma-ray detectors for food screening systems", Applied superconductivity conference 2014, (3EPo2G-04), 8月12-15日, Charlotte, USA, (2014).

(4) M. Naruse, H. Myoren, and T. Taino, "Superconducting microresonator array detector for gamma ray radiation from cesium-137", the 7th Asian Conference on

Applied Superconductivity and Cryogenics,
Cappadocia, Turkey, October 24, (2013).

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成瀬 雅人 (NARUSE, Masato)
埼玉大学・理工学研究科・助教
研究者番号：10638175

(2) 研究分担者

()
なし
研究者番号：

(3) 連携研究者

()
なし
研究者番号：

(4) 研究協力者

()
明連 広昭 (MYOREN, Hiroaki)
田井野 徹 (TAINO, Tohru)
宮本 法明 (MIYAMOTO, Noriaki)
久保田 立記 (KUBOTA, Ritsuki)