○印は登壇者，★は応用物理学会北海道支部発表奨励賞審査希望者の講演
※印は日本光学会員の講演

第59回 応用物理学会北海道支部
第20回 日本光学会北海道支部
合同学術講演会予稿

A会場（B12講義室）

A-3　1月7日（日）　10:00 ~ 11:15　座長：関根 ちひろ（室工大）

A-3-1　BiS_2 係超伝導体 La(OF)BiS_2 の鉛置換効果と超伝導　★
○佐々木 美空，下山 将太，中村 泰士，中村 哲太，柴山 義行，桃野 直樹
（室蘭工大院）

A-3-2　電気二重層トランジスタを用いた $LaNiO_2$ 超薄膜の超伝導相探索
トランジスタ高性能化の検討
○(B4) 小浦姿 [1]，香田 匡貴 [1]，新谷 和司 [1]，下田 周平 [2]，迫田將仁 [1]
（北海道大学工学部 [1] 北海道大触媒研究所 [2]）

A-3-3　放電プラズマ焼結法による$Ln_{2-x}Ce_xCuO_4$(Ln=Nd, Pr, Sm, Eu)の合成　★
○伊藤由将，黒沢将平，横田晴飛，柴田浩行
（北見工業大学大学院 工学専攻）

A-3-4　超伝導ワイドストリップ光子検出器 SWSPD の作製　★
○大室 智士、柴田 浩行
（北見工業大学大学院 工学研究科）

A-3-5　裏入射型 NbTiN-SNSPD の開発
○両瀬隆宏 [1]，中野和佳子 [2]，シェン・ペン [1]，柴田浩行 [1]
（北見工業大学 [1]，北海道大学電子科学研究所 [2]）

BiS_2系超伝導体 La(OF)BiS_2の鉛置換効果と超伝導

Pb substitution effects and superconductivity of the BiS_2-based superconductors La(OF)BiS_2

室蘭工大院　○佐々木 美空，　下山　将太，　中村　泰士，　中村　哲太，　柴山　義行，桃野 直樹

Muroran Inst. of Tech.　○M. Sasaki, S. Shimoyama, Y. Nakamura, T. Nakamura, Y. Shibayama, N. Momono

BiS_2系超伝導体は LnO (絶縁層)と BiS_2 (伝導層)が *c* 軸方向に積み重なる正方晶の層状構造をしており，鉄ヒ素系超伝導体などの高温超伝導体と同様な構造であることから，その超伝導発現機構に関心がもたれている．この系は超伝導に対する圧力効果に特徴がある．例えば，$LaO_{0.5}F_{0.5}BiS_2$では，~1GPa 以上の圧力下で超伝導転移温度 T_cが 2K から~10K に大きく上昇する[1,2]．さらに T_c の上昇が見られる圧力では，結晶が正方晶 (*P*4/*nmm*) から単斜晶 ($P2_1/m$) へ構造相転移することが報告され，T_c と結晶構造との関連が示唆されている[3]．さらに物理的な圧力だけではなく，化学圧力効果でも T_c の上昇が報告されている[4]．特に Bi を Pb に置換した $LaO_{0.5}F_{0.5}Bi_{1-x}Pb_xS_2$ では, 化学圧力効果だけでは説明できない T_c の変化が報告され（*x*=0.06~0.10)，150K 付近における電気抵抗の異常も報告された[5]．本研究ではこの電気抵抗の異常と T_c との関連を調べるため，$LaO_{0.5}F_{0.5}Bi_{1-x}Pb_xS_2$ の単結晶試料について，電気抵抗，熱膨張，比熱，ゼーベック係数の測定を行った．

図 1 に *x*=0.10 の比熱と線膨張率の結果を示す. 比熱と線膨張率に 150 K 付近で異常がみられ，しかもヒステリシスを伴っていることがわかる．この異常が起きる温度を T*とすると，T*は先行研究での結果と一致する。線膨張率や比熱の振る舞いから，T*では一次構造相転移が起きていると考えられる．当日は比熱，熱膨張のほかに，ゼーベック係数の結果にも触れ，電気抵抗の異常と T_c の関連について議論する予定である．

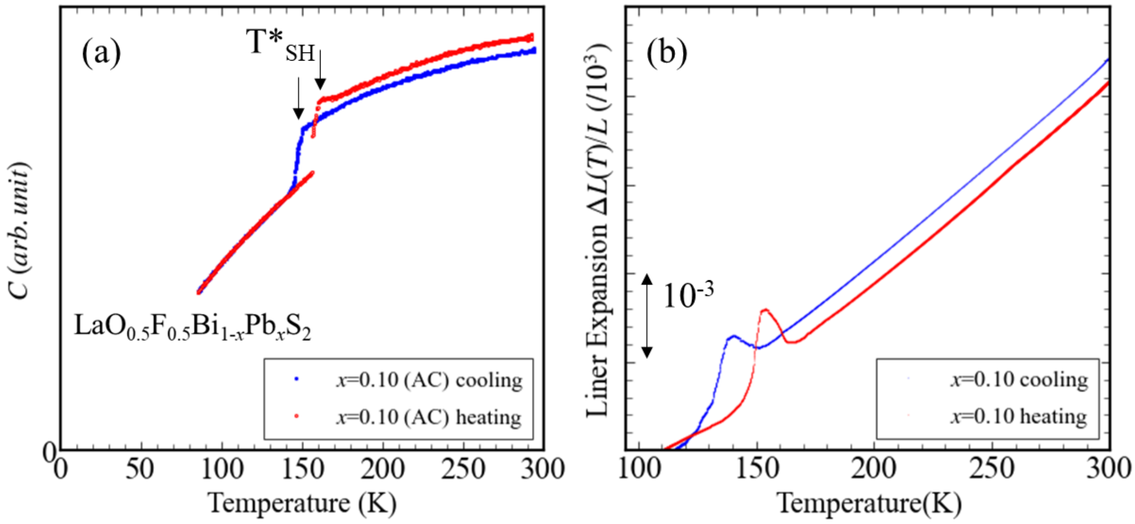

図 1 (a) $LaO_{0.5}F_{0.5}Bi_{1-x}Pb_xS_2$ の比熱の温度依存性 (*x*=0.10) (b) 線膨張率の温度依存性 (*x*=0.10)

[1] R. Jha, H. Kishan. et. al. J. Phys. Chem. Solids 84 (2015) 17-23
[2] H. Kotegawa. et. al. J Phy. Soc. Jpn. 81 (2012) 103702.
[3] R. Higashinaka. et. al. J. Phys. Soc. Jpn. 84, 123703 (2015)
[4] Y. Mizuguchi. et. al: Sci. Rep. 5 (2015) 14968.
[5] S.Otsuki et al. Solid State Comn. 270 (2017)17-21

電気二重層トランジスタを用いた $LaNiO_2$ 超薄膜の超伝導相探索

Investigation of superconducting phase of $LaNiO_2$ ultrathin film using electric double-layer transistor

北海道大学工学部 [1]　北海道大触媒研究所 [2]

Hokkaido University, School of Engineering[1]. Hokkaido University, Institute for Catalysis. [2]

○(B4)小浦姿 [1]，香田 匡貴 [1]，新谷 和司 [1]，下田 周平 [2]，迫田將仁 [1]

°Sugata Koura[1], Masaki Koda[1], Kazushi Shinya[1], Shuhei Shimoda[2], Masahito Sakoda[1]

E-mail: kora.sugata.c9@elms.hokudai.ac.jp

ニッケル酸化物は、Ni^+が Cu^{2+}と同様に 9 個の 3d 電子をもつ電子構造をとるという銅酸化物との類似性から超伝導相の発見が期待されてきた。$LaNiO_2$ においてニッケルが Ni^+の状態を取る上に、$LaNiO_2$ が NiO_2 面の無限層構造を持つことが報告された。そして、2019 年に $Nd_{1-x}Sr_xNiO_2$ においてニッケル酸化物で初の超伝導が発見された [1]。また、2020 年には Pr1-xSrxNiO2 で[2]、2022 年には $La_{1-x}Ca_xNiO_2$ でも超伝導の発現が報告された [3]。これらのニッケル酸化物では、3 価の希土類元素を含むペロブスカイト構造を持つ $MNiO_3$(M = La, Pr, Nd)を母物質とし、それを還元して得られる無限層構造を持った $MNiO_2$ の Ni^+の価数を、元素置換により変化させることで、超伝導が発現している。

我々は、このニッケル酸化物の価数に着目し、イオン液体を用いた電気二重層トランジスタを使用した直接的なキャリアドープによる超伝導の発現を目標とした。電気二重層トランジスタとは、試料に接触させたゲート絶縁体に電圧を印加し、試料のキャリア密度を変調させるトランジスタで、その概略図を Fig. 1 に示す。これを用いることで、$LaNiO_2$ におけるキャリア数を自在に調節することや、元素置換により生じる $LaNiO_2$ の構造的変化を抑制することが出来る。今回我々は、$LaNiO_3$ 超薄膜を MBE 法により作製した後、それを還元して得られる $LaNiO_2$ 超薄膜に対し、電気二重層トランジスタを用いて、これまで超伝導が報告されているホール方向に加えて電子方向に対してもキャリアドープを行い、抵抗率の温度依存性をはじめとした物性を測定した。当日は、$LaNiO_2$ 超薄膜の温度による抵抗率変化のゲート電圧による依存性をはじめとした実験結果を報告する予定である。

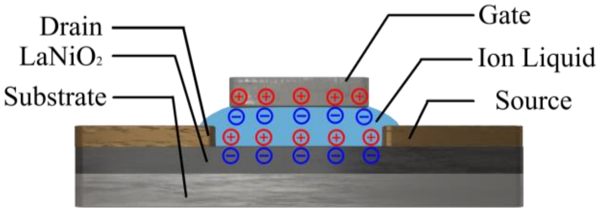

Fig. 1 Schematic diagram of the electric double-layer transistor

Reference

[1] D. Li et al, “Superconductivity in an infinite-layer nickelate.”: Nature572, 624–627 (2019).

[2] M. Osada et al. “Phase diagram of infinite layer praseodymium nickelate $Pr_{1-x}Sr_xNiO_2$ thin films”

[3] S. Zeng et al. “Superconductivity in infinite-layer nickelate $La_{1-x}Ca_xNiO_2$ thin films”: Science Advances, Volume 8, Issue 7 (2022)

放電プラズマ焼結法による

$Ln_{2-x}Ce_xCuO4$(Ln=Nd, Pr, Sm, Eu)の合成

北見工業大学大学院　工学専攻
○伊藤由将　黒沢将平　横田晴飛　柴田浩行

【はじめに】

高温超伝導材料合成法の一つとして、本研究室では放電プラズマ（SPS）法を用いた合成を試みている。この方法は、粉末に機械的に加圧しながら電圧を印加することによって、短時間で均一に固相反応を行うセラミックス合成法である。SPS 法は真空中合成であるため、ホールドープ型高温超伝導材料の場合、SPS 後に酸素アニールが必要であるが、電子ドープ型超伝導体 $Ln_{2-x}Ce_xCuO_4$(Ln=Nd, Pr, Sm, Eu) の場合は酸素アニールが不要となり SPS 法に適していると考えられる。また、$Ln_{2-x}Ce_xCuO_4$(Ln=Nd, Pr, Sm, Eu)は、真空中の超高圧合成（6GPa）によって超伝導特性が向上することが知られており[1]、SPS 合成による特性向上が期待できる。本研究では SPS 法を用いた $Ln_{2-x}Ce_xCuO_4$(Ln=Nd, Pr, Sm, Eu)の合成を試みた。

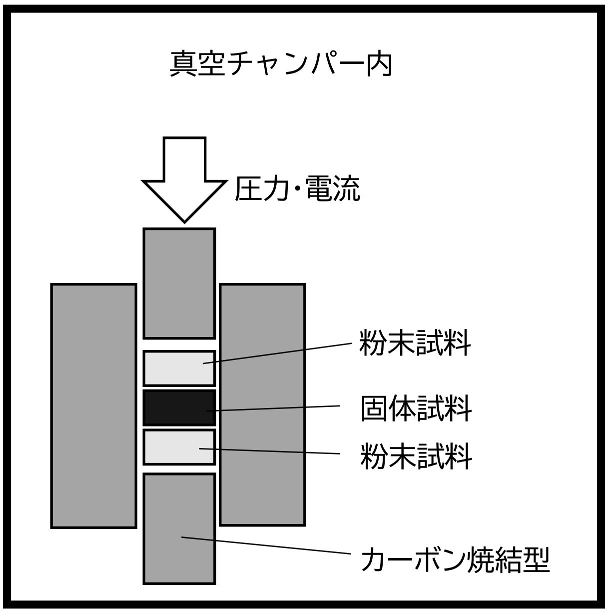

図 1　SPS 装置

【実験内容】

原料粉末 Nd_2O_3、Sm_2O_3、Eu_2O_3、Pr_6O_{11}、CeO_2、CuO をそれぞれ規定量秤量、混合を行ったのち、900℃で 20 時間仮焼きした後、ペレットを作成し、1070℃で 16 時間本焼きを行った。その後、SPS 法を用いて、加圧による固体試料の破壊を防止するために粉末試料で挟み、通電性のあるカーボン型に入れ、700℃～900℃で一定時間アニールを行った。合成試料について 4K 冷凍機と 4 端子法による臨界温度 T_c の測定、XRD による定性分析を行った。

【実験結果】

図 2 に SPS によって真空中 800℃でアニールした $Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO_4$ および $Sm_{1.85}Ce_{0.15}CuO_4$ の抵抗率の温度依存性を示す。各々、Tc が約 20K および 10K の超伝導を示した。講演では、Ln=Pr,Eu について SPS 処理した試料の抵抗率の温度依存性および磁化率測定結果についても報告する。

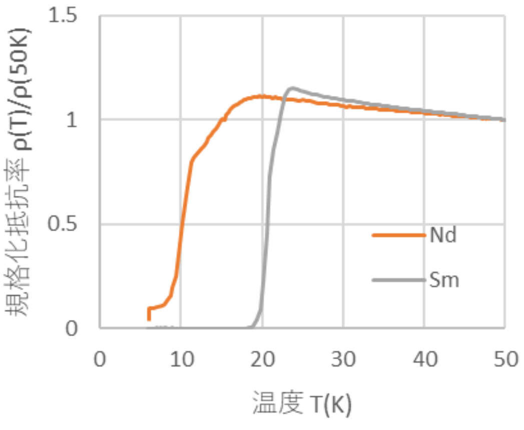

図 2　SPS アニールした $Ln_{1.85}Ce_{0.15}CuO_4$ (Ln=Nd, Sm) の規格化抵抗率温度依存性

超伝導ワイドストリップ光子検出器（SWSPD）の作製

北見工業大学大学院
○大室 智士、 柴田 浩行

はじめに

これまで幅約 100nm の超伝導ナノストリップを用いた単一光子検出器（SNSPD）が開発されているが、近年、数マイクロメートル幅の超伝導ストリップを用いた単一光子検出器（SMSPD）も実証されている[1]。しかし、10μm を超える幅の広い超伝導ストリップを用いて単一光子を検出することは困難であった。ごく最近、ストリップ全体で 2 つの異なる臨界電流（Ic）を持ち、エッジ領域が中央領域よりも高い臨界電流を持つ超伝導ストリップ構造である、高臨界電流バンク（HCCB）構造（図 1）を用いた幅 20μm の窒化ニオブチタン（NbTiN）超伝導ワイドストリップ光子検出器（SWSPD）が実証された[2]。本研究ではコンタクトアライナーを用いたフォトリソグラフィ法によって窒化ニオブ（NbN）を用いた SWSPD を試作したので報告する。

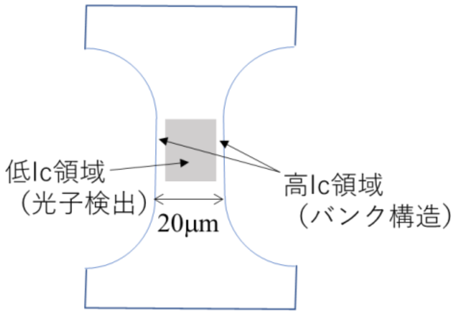

図 1 SWSPD 概略図

実験と結果

MgO 基板上に NbN 薄膜をロードロック式スパッタ装置により厚さ 3.3nm 製膜した。次に真空蒸着装置およびフォトリソグラフィにより Cr,Ag 電極を作製した。更にフォトリソグラフィを用いて幅 20μm の細線パターンを作製した。その後、4K 冷凍機を用いて作製した超伝導細線の抵抗率および I-V 特性を測定した。抵抗率測定結果を図 2 に示す。Tc=10.62K が得られた。次に、作製した幅 20μm の細線を用いて、フォトリソグラフィおよび Ar ドライエッチングにより低 Ic 領域を追加で加工し、再び冷凍機で抵抗率および I-V 測定を行った。I-V 特性結果を図 3 に示す。バンク構造がない場合は Ic=8.2mA、ある場合は 4.5mA となった。バンク構造がある場合も Ic の低下した良好な IV 特性が得られていることから、光子検出可能と期待できる。
光検出測定結果の詳細は講演で報告する。

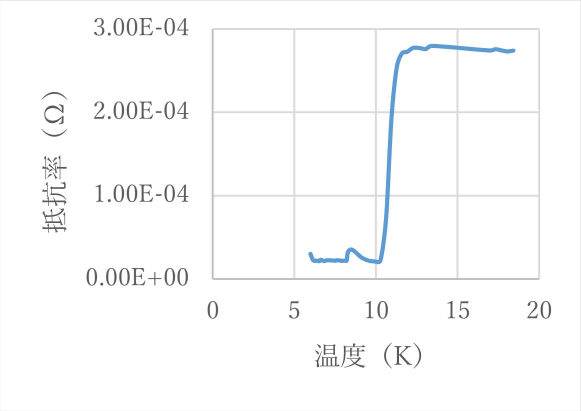

図 2 NbN マイクロ細線の抵抗率温度依存

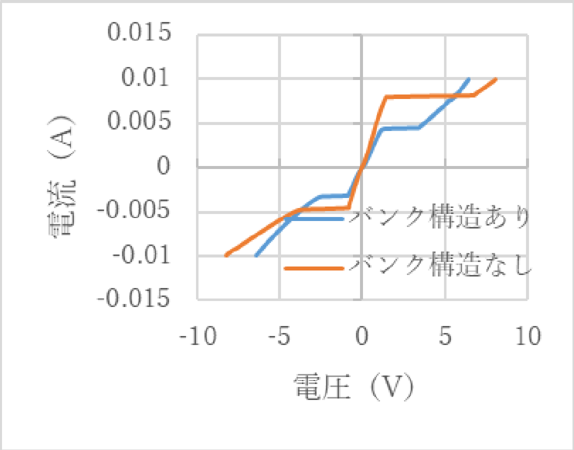

図 3 NbN マイクロ細線の I-V 特性

参考文献
[1] K. Korneeva et al., Phys. Rev. Appl. 9, 064037 (2018).
[2] M. Yabuno et al., Optica Quant. 1, 26 (2023).

謝辞
本研究の一部は JSPS 科研費(JP21K04170)の助成により実施された。

裏入射型 NbTiN-SNSPD の開発

北見工業大学[1], 北海道大学電子科学研究所[2]
○両瀬隆宏[1], 中野和佳子[2], シェン・ペン[1], 柴田浩行[1]

[背景]

超伝導ナノワイヤ単一光子検出器(SNSPD)は高速で高検出効率や低暗計数率など優れた特性を持ち、様々な分野で応用が進んでいる。当研究室では厚さ 7nm の窒化ニオブチタン(NbTiN)を用いた SNSPD の検出効率 50%が最高の値となっており、本研究においては膜厚や製膜条件などはこの試料と同じとして以下の 2 つを新たに条件として加え検出効率の向上を試みた。

(1) 過去の試料では細線幅と絶縁幅は等しかったが、メアンダ構造の細線が曲がる部分において局所的に電流密度が増加し臨界電流が抑制される効果が知られており[1]、今回の試料では細線幅に対して絶縁幅を 2 倍とすることで曲がりを緩やかにして臨界電流の向上を図った。

(2) 先行研究では NbTiN-SNSPD に He イオンを照射すると臨界電流は減少するものの検出効率は大きく向上したという報告がある[2]。そのため本研究ではドライエッチング装置を用いて NbTiN に He イオンを照射したものと照射していないもので SNSPD を作製し比較を行った。

[実験と結果]

DC マグネトロンスパッタ装置で 2 つの熱酸化 Si 基板上に NbTiN を 7nm 製膜し、一方には He イオンを照射した。その後、北海道大学で電子ビーム描画とドライエッチングにより線幅 60-110nm のメアンダ構造に加工し(図 1)、さらに光吸収効率の向上のため原子層堆積装置及びヘリコンスパッタ装置で Al_2O_3 と Au 層の光キャビティ構造を作製した(図 2)。

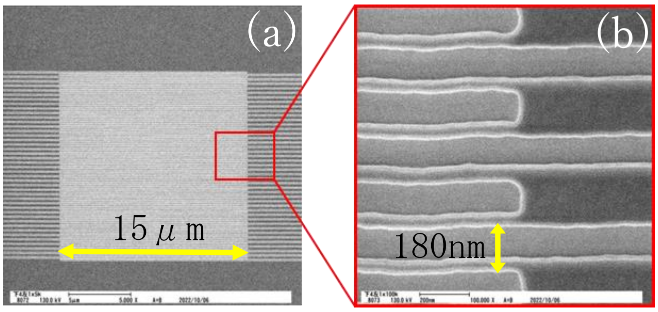

図 1　メアンダ構造 (a)5 千倍 (b)10 万倍

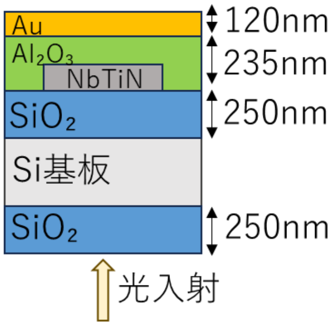

図 2　光キャビティ構造

作製した SNSPD の IV 測定の結果を図 3 に示す。He イオンを照射した試料では臨界電流の大幅な減少が確認された。また、照射していない試料について、臨界電流は 10μA 以下で過去の試料の数値を下まわっており、これは図 1(b)で見られるように細線幅が設計値より狭くなったためと考えられる。絶縁幅増加による臨界電流増加は確認できなかった。検出効率など詳細な光測定結果については講演で報告する。

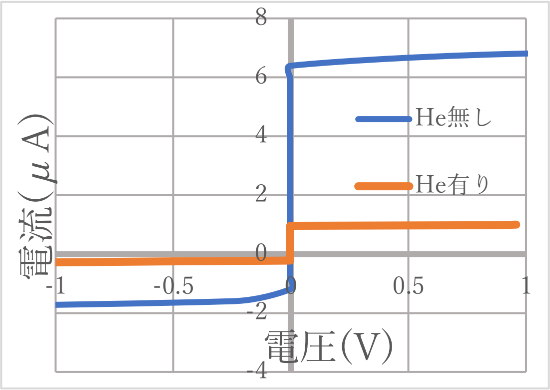

図 3　IV 特性(線幅 110nm)

参考文献　[1] A.Engel et al, Supercond. Sci. Technol. 28 114003(2015)
[2] S.Strohauer et al, Adv. Quantum Technol. 2300139(2023)

謝辞　本研究の一部は JSPS 科研費 (JP21K04170) の助成により実施された。