

令和元年6月20日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K19049

研究課題名(和文)ベータタングステンにおける巨大スピン流と超伝導

研究課題名(英文)Spin current and superconductivity in beta-tungsten

研究代表者

林 将光(Hayashi, Masamitsu)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：70517854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は大きなスピンホール角と比較的高い超伝導転移温度を持つA15構造タングステン(beta-W)を用いて、常伝導時のスピンホール角と超伝導転移温度の関係を明らかにすることが目的である。本研究では、炭素を50%程度含有する炭化タングステンやMoN/Wの2層膜などの超伝導転移温度を調べ、スピン軌道相互作用が大きく、超伝導温度が高い物質の開発を行った。特にMoN/W2の2層膜では、超伝導近接効果を利用して、8K程度の転移温度を得ることに成功した。また、W単膜(厚さ3nm)の超伝導特性を調べ、超伝導のコヒーレンス長が7-14 nm程度であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、スピン軌道相互作用が大きく、かつ超伝導転移温度が液体ヘリウム温度(4.2K)よりも大きい物質を開拓することに成功した。これにより、スピン軌道相互作用が大きい超伝導物質へのスピン流注入やスピン流生成に関する実験が可能となる。また、ベータ-Wの面内臨界磁場が大きく、超伝導のコヒーレンス長が7-14 nm程度であることがわかり、大きなスピン軌道相互作用を有する物質における超伝導特性の知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to reveal the relationship between the spin Hall angle and the superconducting transition temperatures in A15 structures. In this project, we have developed WC and MoN/W bilayer structures that exhibit relatively high superconducting transition temperature (T_c). In the latter, we found that the T_c is enhanced by superconducting proximity effect. We have also studied the superconducting properties of beta-W and found that the superconducting coherence length is \sim 7-14 nm.

研究分野：電子スピン物性

キーワード：超伝導 スピン軌道相互作用

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

A15 構造ベータタングステン (beta-W) は金属の中では、超伝導転移温度が比較的高いことが知られている。過去の文献では 10 K に迫るものもある。一方、W の最安定構造である bcc-W の超伝導転移温度は高くても 0.1 K 以下であり、その違いは歴然としている。同じような傾向がスピン軌道相互作用が大きい Bi でも観測されている。

スピン軌道相互作用が直接関与するスピホール効果でも類似の傾向が観測されている。beta-W は 5d 遷移金属の中で一番大きなスピホール角 (角度換算で ~ 0.3 rad 程度) を有しているが、bcc-W のスピホール角は 0.01 rad 以下である。これが偶然の一致であるのか、あるいはスピン軌道相互作用が超伝導転移にも何らかの影響を及ぼすのかを明らかにするため、本研究の提案に至った。

2. 研究の目的

本研究は大きなスピホール角と比較的高い超伝導転移温度を持つ A15 構造を有するタングステン (beta-W) などを用いて、超伝導体におけるスピン流制御の可能性を明らかにすることが目的である。特にスピン軌道相互作用が大きく、大きなスピホール効果を発現する物質において、常伝導時のスピホール角と超伝導転移温度の関係を明らかにする。

3. 研究の方法

これまでの研究から、W をスパッタで成膜する際、W のスパッタ条件や膜厚、下地層の構成材料などによって得られる構造が変化することがわかっている。特に W の膜厚が大きくなると、bcc 構造に結晶化した W (bcc-W) が形成しやすくなる。そこで本研究では成膜条件等を変え、W 膜に占める beta 相の割合が大きくなる条件を探索する。beta 相の割合は X 線回折や電気抵抗測定を利用して決定する。特に、超伝導転移温度は一般的に膜厚が小さくなるほど、減少する傾向にあることが知られているので、W の膜厚が大きい極限で beta 相の割合が大きくなる成膜条件を調べる。スピホール角の測定にはスピホール磁気抵抗効果を利用する。

4. 研究成果

本研究は大きなスピホール角と比較的高い超伝導転移温度を持つ A15 構造 (ベータ相) タングステンを用いて、超伝導体におけるスピン流制御の可能性を明らかにすることを目的とする。スピン軌道相互作用が大きく、大きなスピホール効果を発現する物質が超伝導状態に転移した際、超伝導体内のスピン流に関する調査を行う。

初年度は、タングステン薄膜の超伝導転移温度の成膜条件依存性を調べた。RF スパッタ法を用いて、タングステン膜をシリコン基板上に成膜した。成膜中のガス圧やスパッタ電力、タングステン膜の成長に影響を与える下地層などを変えて成膜を行なった。しかしながら、ほぼ全てのタングステン膜で超伝導転移温度が 2 K 程度かそれ以下であった (膜厚は 10-20 nm)。

一方で、収束イオンビームを用いて作成したタングステン膜の超伝導転移温度が 5 K 程度であることがわかり、組成分析から炭素やガリウムが入っていることがわかった。そこで、スパッタで用いるターゲットに、炭素を 50% 程度含有する炭化タングステンを用い成膜を行った。その結果、超伝導転移温度が 3 K 程度にまで上昇した。

また、超伝導転移温度の高い物質からのクーパー対の染み出しによる近接効果を利用して、スピン軌道相互作用が大きい物質に超

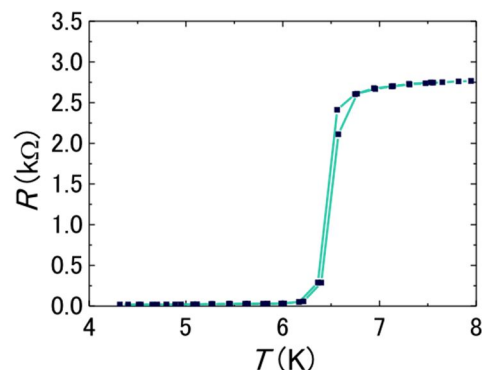


図 1. 収束イオンビームを用いて作成したタングステン膜の超伝導転移温度。

伝導を誘起する実験を行った。そのため、超伝導転移温度の高い物質として、モリブデンに窒素を添加した MoN に着目した。MoN 膜を成膜し、超伝導転移温度を調べたところ、最大で 7 K 程度の膜を得ることに成功した。次に超伝導近接効果を利用して、MoN/W 膜における超伝導転移温度を評価した結果、MoN 単体、W 単体より大きな転移温度(8K 程度)を観測することに成功した。今後これらの結果をさらに解析し、その物理的機構を解明する。

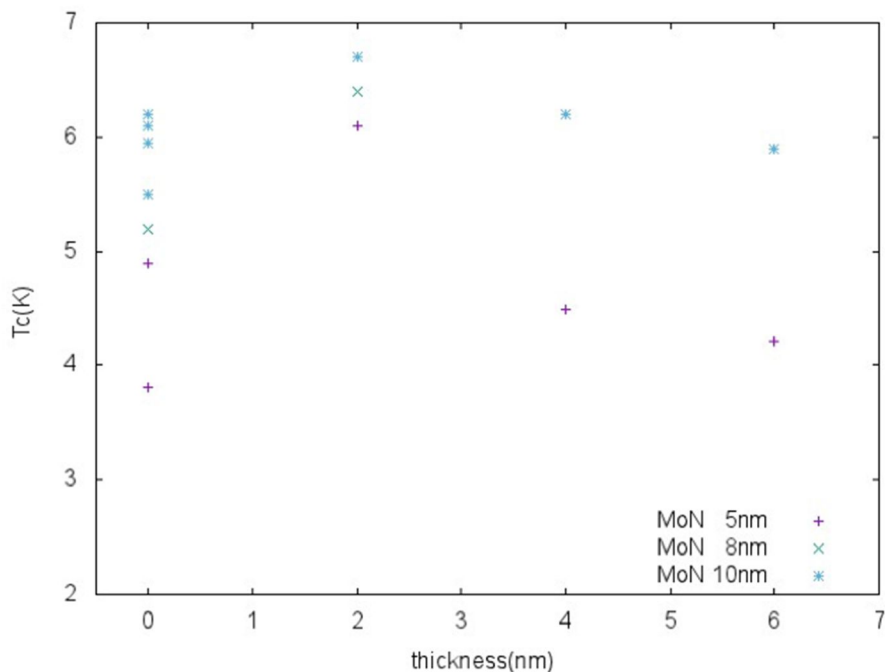


図 1. MoN/W の 2 層膜における W 膜厚と超伝導転移温度の関係。シンボルの違いは MoN 層の膜厚を反映。

2 年度目は、スピン軌道相互作用が大きいベータ-タングステン (W) の超伝導特性を調べた。ベータ-タングステン (W) をスパッタ法で成膜すると、5nm 程度の膜厚以上で結晶化し、ベータ (A15) 構造からアルファ (BCC) 構造に構造相転移が起きる。アルファ-タングステンの超伝導転移温度は非常に小さいことが報告されており (10mK 程度)、超伝導を観測するにはベータ-タングステンが必要となる。しかしながら、薄膜の超伝導は膜厚の低下とともに超伝導転移温度が減少することが知られており、膜厚が薄い試料の測定は困難である。そこで本研究では、極低温の測定系を用いてスパッタ法で成膜した厚さ 3 nm 程度のベータ-タングステン薄膜の超伝導特性を評価した。その結果、約 2 K で試料が超伝導転移したことを観測した。また、超伝導状態が維持できなくなる臨界磁場 (H_c) を測定した結果、磁場を膜面水平方向に印加した時の値が非常に大きいことがわかった。これは過去の報告と概ね一致する結果である。面内臨界磁場と測定温度の関係を調べたところ、2 次元系の超伝導特性と一致する結果が得られ、膜厚が 3 nm 程度の超伝導体の性質を捉えた結果と考える。また、面直方向の臨界磁場の値から超伝導のコヒーレンス長が 7-14 nm 程度であることがわかった。今後はベータ-タングステンや初年度に調査した W/MoN 多層膜を用いて、スピン軌道相互作用が大きい超伝導物質へのスピン流注入やスピン流生成に関する実験を行う。

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1件)

河口真志, 大森康智, 木俣基, 大谷義近, 林将光, 非局所スピントルクを用いたタンダステン
ピン伝導 特性, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年 9 月 22 日, 岩手大学, 盛岡.

〔その他〕

ホームページ等

<http://qspin.phys.s.u-tokyo.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

(2)研究協力者

研究協力者氏名：河口真志

ローマ字氏名：KAWAGUCHI, Masashi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施
や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解
や責任は、研究者個人に帰属されます。