

**¹¹⁹Sn 核共鳴散乱法を用いた金属ナノ変調多層膜における電子
スピニン分極の検出**

**Detection of Spin-Polarization in Metallic Multilayers using ¹¹⁹Sn
Nuclear Resonant Scattering**

壬生 攻¹、大塚 祐平^{1,2}、慈幸 範洋^{2,3}、瀬戸 誠⁴、三井 隆也⁵

*K. Mibu¹, Y. Otsuka^{1,2}, N. Jiko^{2,3}, M. Seto⁴, T. Mitsui⁵

¹京都大学低温物質科学研究センター, ²京都大学大学院理学研究科, ³京都大学化学研究所,

⁴京都大学原子炉実験所, ⁵日本原子力研究所

¹Rerearch Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University,

²Graduate School of Science, Kyoto University, ³Institute for Chemical Research, Kyoto University,

⁴Research Reactor Institute, Kyoto University, ⁵Japan Atomic Energy Research Institute

金属ナノ変調多層膜における電子スピニン分極の検出を目的に、¹¹⁹Sn 核共鳴散乱実験を行った。超高分解能 Si モノクロメータにより数 meV 幅まで単色化された 23.88 keV (¹¹⁹Sn 核メスバウアー遷移エネルギー) の X 線を Cr/Sn 系多層膜試料に入射し、試料内の ¹¹⁹Sn 核によって共鳴散乱された X 線の時間スペクトルを測定することを試みた。電子スピニン分極の探針となる ¹¹⁹Sn(1.0 nm) 層を Cr(4.0 nm) 層の上に配した MgO/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) と、さらに Cr 層の下に強磁性の Co₂MnSn(5.0 nm) 層を敷いた MgO/Cr(5.0 nm)/Co₂MnSn(5.0 nm)/Cr(4.0nm)/Sn(1.0nm) の時間スペクトルを得ることに成功した。両者のスペクトルパターンにはわずかな違いが見られ、下地の強磁性 Co₂MnSn 層の影響を受けて Cr の磁気構造が変化し、Sn 核位置での電子スピニン分極が変化していることが示唆されている。

In order to detect electron spin-polarization in metallic multilayers with nano-scale modulations, ¹¹⁹Sn nuclear resonant scattering measurements were performed at BL11XU. X-ray beams corresponding to the Mössbauer transition energy of 23.88 keV were monochromatized into a width of several meV with a Si monochromator and injected to Cr/Sn-based multilayers. The time spectra of X-rays resonantly scattered from the ¹¹⁹Sn nuclei of the samples were measured by an avalanche photodiode detector. The time spectrum for MgO/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) and that for MgO/Cr(5.0 nm)/Co₂MnSn(5.0 nm)/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) were successfully obtained. It was found that the beat patterns of these spectra are slightly different, suggesting that the magnetic structure of Cr is changed by the existence of the underlaid ferromagnetic Co₂MnSn layer.

背景と研究目的

ナノテクノロジー・スピントロニクスの急速な発展に伴い、ナノメートルサイズの磁性薄膜や磁性構造体における局所的な電子スピントロニクスの研究が注目されている。本課題実験責任者の研究グループでは、金属の薄膜やナノ変調多層膜に非磁性元素である Sn をドープし、¹¹⁹Sn メスバウアーフィルタ法（線源実験）を適用することによって試料内に誘起された電子スピントロニクスの研究を行ってきた[1,2]。Sn 原子核を取りまく電子系にスピントロニクスが生じれば、超微細相互作用を通じて原子核位置に内部磁場（hyperfine field）が誘起され、核エネルギー準位が分裂する。分裂の程度は原子核によるガンマ線吸収スペクトル（メスバウアースペクトル）に反映されるので、スペクトルを解析することによって、スピントロニクスに関する局所的な情報が得られる。このような研究をさらに発展させ、特殊環境下でのナノ構造体のスピントロニクスを探究していくための手段として、放射光を用いた核共鳴散乱法の利用が提案され、2004B 期には 2004A 期に行われた予備的実験の結果を踏まえて引き続き実験が進められた。

実験

今回のビームタイムでは、体心立方構造の(001)方向に成長させた金属 Cr 薄膜の上に 1.0 ナノメートル（約 6 原子層）の Sn 層を積層した構造をもつ Cr/Sn 薄膜の Sn 核位置における電子スピントロニクスの測定を試みた。¹¹⁹Sn 核の共鳴エネルギー（23.88 keV）に合わせたアンジュレーター放射光を、超高分解能結晶モノクロメータを用いてバンド幅数 meV 程度に絞った後、試料に入射し、核共鳴散乱時間スペクトルを APD（アバランシェ・フォトダイオード）検出器を用いて測定した。試料最表面にわずか数原子層程度蒸着された ¹¹⁹Sn 核によって入射 X 線を効率的に共鳴散乱させるために、薄膜面すれすれ入射の全反射配置での測定を行った。X 線パルス入射直後から次のパルスが入射される直前まで（今回の運転モードではバンチ間隔 114 ns）の散乱強度を時間に対して積算することによって、¹¹⁹Sn 核に共鳴散乱された X 線の時間スペクトルを測定し、そこから ¹¹⁹Sn 核が有効に感じている内部磁場を求め、Sn サイトにおける電子のスピントロニクスに関する情報を得ることを目指した。液体窒素フロー型小型クライオスタットを用いて試料を冷却し、低温で測定を行った。

ペクトルを APD（アバランシェ・フォトダイオード）検出器を用いて測定した。試料最表面にわずか数原子層程度蒸着された ¹¹⁹Sn 核によって入射 X 線を効率的に共鳴散乱させるために、薄膜面すれすれ入射の全反射配置での測定を行った。X 線パルス入射直後から次のパルスが入射される直前まで（今回の運転モードではバンチ間隔 114 ns）の散乱強度を時間に対して積算することによって、¹¹⁹Sn 核に共鳴散乱された X 線の時間スペクトルを測定し、そこから ¹¹⁹Sn 核が有効に感じている内部磁場を求め、Sn サイトにおける電子のスピントロニクスに関する情報を得ることを目指した。液体窒素フロー型小型クライオスタットを用いて試料を冷却し、低温で測定を行った。

結果および今後の課題

前回 2004A 期には、それまで世界で報告例がなかった薄膜・ナノ構造試料の ¹¹⁹Sn 核共鳴散乱時間スペクトル測定を試み、実験条件の最適化を行った。今回は、モノクロメータの構成、X 線入射角、試料の構成などに関して現時点での最適条件を用いて測定を試みた。電子スピントロニクスの探針となる ¹¹⁹Sn(1.0 nm) 層を Cr(4.0 nm) 層の上に配した MgO/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) と、さらに Cr の下に強磁性の Co₂MnSn(5.0 nm) 層を敷いた MgO/Cr(5.0 nm)/Co₂MnSn(5.0 nm)/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) 膜の核共鳴散乱時間スペクトルの測定を行い、Fig.1 に示すようなスペクトルを得ることに成功した。両者のスペクトルパターンにはわずかながら違いが見られ、下地の強磁性 Co₂MnSn 層の存在により Cr の磁気構造が変化し、Sn 核位置での電子スピントロニクスが変化していることが示唆されている。

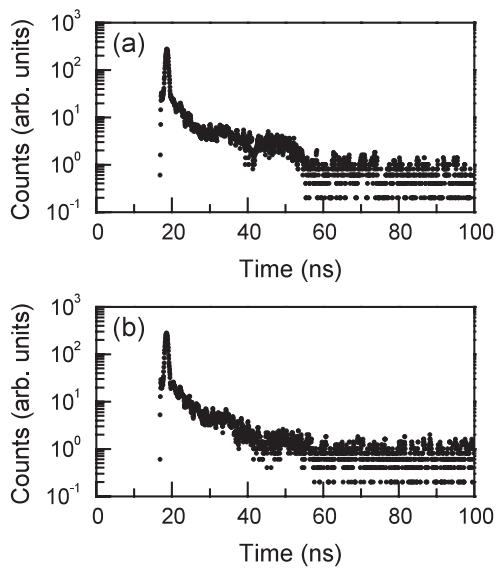


Fig. 1 Time spectra of ^{119}Sn nuclear resonant scattering from (a) MgO/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) and (b) MgO/Cr(5.0 nm)/Co₂MnSn(5.0 nm)/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm).

今回用いた試料では ^{119}Sn 層が 1.0 nm と厚く、界面で Cr 層と接している Sn 原子の割合は Sn 全体の約 1/6 である。今後この手法をナノ構造体の磁性研究に広く展開していくためには、さらに薄い Sn 層に対しても十分な信号強度が得られるだけの検出効率の確保が課題となる。次回のビームタイムに向けて、多素子 APD 検出器の利用などを検討中である。

参考文献

- [1] Mibu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **84** (2000) 2243.
- [2] Mibu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 287202.