

## $^{119}\text{Sn}$ 核共鳴散乱法を用いた金属ナノ変調多層膜における伝導電子 スピン分極の検出

### Detection of Spin Polarization in Metallic Multilayers using $^{119}\text{Sn}$ Nuclear Resonant Scattering

壬生攻<sup>1</sup>, 大塚祐平<sup>1,2</sup>, 慈幸範洋<sup>2,3</sup>, 大河内拓雄<sup>2,3</sup>, 瀬戸誠<sup>4</sup>, 三井隆也<sup>5</sup>

\*K. Mibu<sup>1</sup>, Y. Otsuka<sup>1,2</sup>, N. Jiko<sup>2,3</sup>, T. Ohkochi<sup>2,3</sup>, M. Seto<sup>4</sup>, T. Mitsui<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 京都大学低温物質科学研究センター, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 京都大学化学研究所,  
<sup>4</sup> 京都大学原子炉実験所, <sup>5</sup> 日本原子力研究所

<sup>1</sup>Research Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University, <sup>2</sup>Graduate School of  
Science, Kyoto University, <sup>3</sup>Institute for Chemical Research, Kyoto University, <sup>4</sup>Research Reactor Institute,  
Kyoto University, <sup>5</sup>Japan Atomic Energy Research Institute

金属ナノ変調多層膜における伝導電子のスピン分極を検出することを目的とし,  $^{119}\text{Sn}$  核共鳴散乱実験を行った.  $^{119}\text{Sn}$  核のメスバウアー遷移エネルギーに相当する 23.88 keV の X 線を Si の高分解能モノクロメータを用いて 3.6 meV まで単色化し, Cr/Sn 系多層膜試料に入射した後, 試料内の  $^{119}\text{Sn}$  核によって共鳴散乱される X線の時間スペクトルを測定することを試みた.  $^{119}\text{Sn}$  核共鳴散乱法の薄膜・ナノ構造試料への適用時の問題点, これまでに実績のある  $^{57}\text{Fe}$  核共鳴散乱法との実験技術上の相違点が明らかになり, 今後特殊環境下でのナノ構造体のスピン分極を探究していくための貴重な足がかりが得られた.

In order to detect electron spin-polarization in metallic multilayers with nano-scale modulations,  $^{119}\text{Sn}$  nuclear resonant scattering measurements were performed for the first time. X-ray beams corresponding to the Mössbauer transition energy of 23.88 keV were monochromatized into a width of 3.6 meV with double crystal Si monochrometers and injected to Cr/Sn multilayers. The time spectra of X-rays resonantly scattered from the  $^{119}\text{Sn}$  nuclei of the samples were detected by an avalanche photo diode detector. Problems for the application of  $^{119}\text{Sn}$  nuclear resonant scattering to thin films and nano-structures were clarified, and important pieces of information on experimental conditions were obtained for further investigations on electron spin-polarization in nano-structures under extreme external conditions.

#### 背景と研究目的

最近のナノテクノロジーやスピントロニ

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

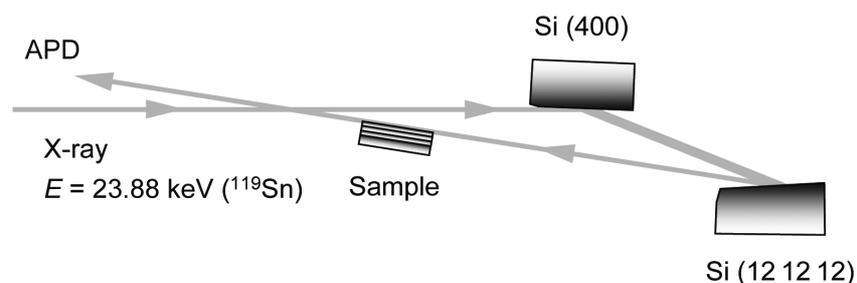


Fig. 1 Experimental setup used for  $^{119}\text{Sn}$  nuclei resonant scattering of Cr/Sn multilayers.

電子スピン分極を実験的に明らかにする必要性がしばしば生じている。本課題実験責任者の研究グループではこれまで、金属ナノ変調多層膜に非磁性元素である Sn をドーブし、 $^{119}\text{Sn}$  メスバウアー分光法（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分極を探る研究を行ってきた[1,2]。Sn 原子核をとりまく電子系にスピン分極が生じれば、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、スピン分極に関する局所的な情報が与えられる。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分極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計画され、2004A 期において最初のビームタイムが与えられるに至った。

## 実験

今回のビームタイムでは、金属 Cr の体心立方(001) 原子層をナノメートル間隔で周期的に Sn 単原子層で置換した構造をもつ Cr/Sn 系エピタキシャル多層膜の Sn 核位置におけるスピン分極の測定を試みた。反強磁的にオーダーした Cr に誘起された Sn のス

ピン分極の大きさと方向を、核共鳴散乱時間スペクトルを通じて探ることを第一目標とした。今回用いられた実験配置を Fig. 1 に示す。 $^{119}\text{Sn}$  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 3.6 meV 程度に絞った後、ナノ変調多層膜試料に入射し、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。試料中にわずか数原子層程度ドーブされた  $^{119}\text{Sn}$  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および斜入射前方散乱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 228 ns）の散乱強度を時間に対して積算することによって、 $^{119}\text{Sn}$  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  $^{119}\text{Sn}$  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分極に関する情報を得ることを目指した。この方法の検出感度を評価するために、 $^{119}\text{Sn}$  の量が異なる何種類かの試料に対して順次測定を試みた。また、クライオスタットを用いて低温での測定を行った。

## 結果および今後の課題

今回は初めてのビームタイムであり、 $^{119}\text{Sn}$  核共鳴散乱時間スペクトル測定法の薄膜・ナノ構造試料への適用はこれまで世界でも例がないために、実験条件（モノクロメータの設定条件、X線入射角の選定条件など）の最適化のためかなりの時間と試行錯誤を要した。そのため、試料の磁性を系統的に議論するのに足りる十分なデータを、今回のビームタイム内で集められるには至らなかった。一方で、今回得られた多くの基礎データより、 $^{119}\text{Sn}$  核共鳴散乱の薄膜・ナノ構造試料への適用時の問題点（モノクロメータの構成、試料内の Sn 層の深さや量に関する最適化など）やこれまでに実績のある  $^{57}\text{Fe}$  核共鳴散乱を用いたナノ磁性測定との実験技術上の相違点が明らかになり、今後特殊環境下でのナノ構造体のスピン分極を探究していくための貴重な足がかりが得られた。

## 参考文献

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