

放射光核共鳴前方散乱によるFe量子ワイヤーの内部磁場についての研究

瀬戸 誠^a, 三井隆也^b, 北尾真司^a, 小林康浩^a, 春木理恵^c, 依田芳卓^d, 奥野拓也^e,
壬生 攻^f, 新庄輝也^g

^a京都大学・原子炉実験所, ^b日本原子力研究所・関西研究所, ^c高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所, ^d高輝度光科学研究センター, ^e京都大学・化学研究所, ^f京都大学・低温物質科学研究センター, ^g国際高等研究所

量子ドット・ワイヤー等のナノスケール系では、マクロ系とは異なる電磁氣的・光学的性質が現れ、基礎的な関心だけでなく様々な分野での応用が期待されている。Fe等の磁性量子ドット・ワイヤーの場合、そのスピン方向（内部磁場方向）に関しては、大きな異方性等の存在といったバルクの場合との違いが予想されているが、詳細については明らかになってはいない。

本研究では、磁性 Fe 量子ワイヤーに対して、放射光核共鳴散乱を用いた測定を行う事で、それらの電子状態、特にそのスピン構造について調べることを目的としている。

放射光核共鳴散乱法では、量子ワイヤーを構成している元素の状態だけについての測定を行う事が出来るという特色があり、基板等の外部の影響を排除することが出来る。放射光を用いた核共鳴前方散乱測定の場合、時間領域での測定¹⁾が行われることが多い。このとき、NMRやメスバウアー分光法の場合と同じように、共鳴原子核のエネルギー準位が原子核位置における内部磁場、電場勾配および電子密度等の超微細相互作用により分裂したりシフトする効果を測

定するが、そのような微細なエネルギー変化の様子が時間領域では量子ビートとなって観測される。通常メスバウアー効果がインコヒーレントな過程であるのに対して、放射光核共鳴散乱法ではコヒーレントな共鳴散乱現象を利用しており、量子ワイヤー等の形状異方性の大きい系における内部磁場等の方向分布についての詳細な情報を得るのに大変適したものとなっている。

測定に用いた試料は、SiO₂ 基板上に生成した⁵⁷Fe量子ワイヤー[幅 30 nm、高さ 30 nm、ワイヤー中心同士の間隔 150 nm]である。放射光核共鳴前方散乱測定は、日本原子力研究所の BL11XUで行った²⁾。高分解能 Si モノクロメータを用いて、⁵⁷Feの核共鳴励起エネルギー(14.413 keV)付近で放射光をエネルギー幅 3.2 meV (FWHM)に分光して試料に照射し、試料からの前方散乱を SiO₂ 基板で全反射させることで、前方方向に設置した APD (アバランシェ・フォトダイオード) 検出器で時間遅れ成分の測定を行った。このときの実験配置を図 1 に示す。このときに、量子ワイヤー内における Fe のスピン配向方向について

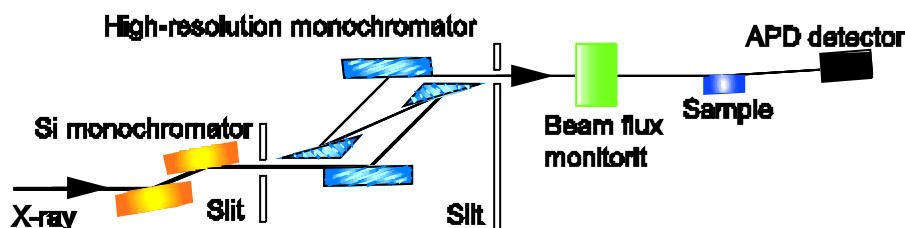


図 1 SiO₂ 基板からの全反射を利用した放射光核共鳴前方散乱測定の実験配置。

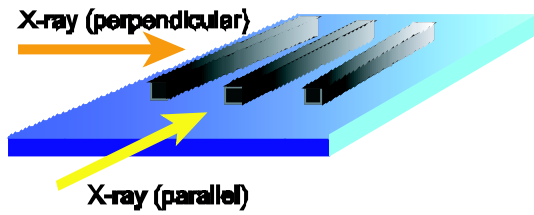


図 2 基板上における Fe 量子ワイヤー方向に対する X 線の入射方向。この図は、実際の量子ワイヤーの形状や長さの比率等を正確に表しているわけではない。

での知見を得るために、X 線の入射方向を量子ワイヤーの長手方向に平行な場合と垂直な場合の両方について時間スペクトル測定を行った (図 2)。実験は室温で試料に外部磁場を印加せずに行われた。

測定されたスペクトルを図 3 に示す。X 線の

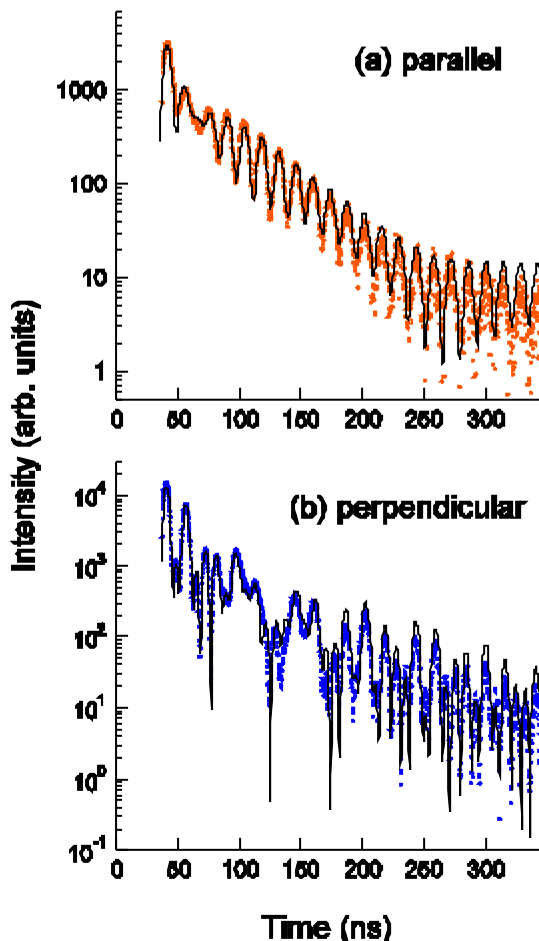


図 3 量子ワイヤーの核共鳴前方散乱スペクトル。(a)量子ワイヤーと入射 X 線が平行の場合、(b)量子ワイヤーと入射 X 線が垂直の場合。実線は超微細相互作用パラメータを用いてフィットしたスペクトル

入射方向に依存してスペクトルが大幅に異なっているのが分かる。核共鳴前方散乱では、X 線入射方向と共鳴励起を起こす原子核位置における内部磁場強度と方向とに依存してスペクトルが変化を示すことが知られている。よって、測定されたスペクトルから内部磁場の大きさや方向分布等に関する情報を得ることが出来る。

測定スペクトルを、内部磁場等の超微細相互作用等をパラメータ^{3,4)}としてフィットした結果を図 3 に実線で示す。このフィットの結果から得られた内部磁場の値は 32.9 T で、バルク Fe の値である 33.0 T と殆ど一致していることより、大部分の Fe の電子状態はバルクの Fe と殆ど同じであると考えることが出来る。これは測定に用いた量子ワイヤーのサイズを考慮すると妥当なものであると考えられる。しかしながら、内部磁場の方向は大きな異方性を示しており、その方向は量子ワイヤーの長手方向と一致している。これより、量子ワイヤー内の磁区における磁化方向が量子ワイヤーの方向と一致していることが確認されたといえる。

以上の結果より、この方法によって量子ワイヤーや量子ドット等のナノ磁性体における内部磁場やスピン方向に関する情報を得ることが可能であることが示されたと考えられる。今後、量子ドット・ワイヤーおよび関連ナノマテリアルに対して、放射光核共鳴散乱を用いた測定を行う事で、それらの電子状態、特に磁性体の場合にはその磁気構造について、形状、サイズ、温度依存性等を系統のおよび詳細に調べ、それらの特性と電子状態との相関について明らかにしていくものである。

参考文献

- [1]. J. B. Hastings, D. P. Siddons, U. van Burck, R. Hollatz and U. Bergmann: Phys. Rev. Lett. **66**, 770 (1991).
- [2]. T. Mitsui, S. Kitao, X. W. Zhang, M. Marushita, and M. Seto, Nucl. Instrum. Methods **A467-468** (2001) 1105.
- [3]. Yu. Kagan, A. M. Afanas'ev and V. G. Kohn: J. Phys. **C12** 615 (1979),
- [4]. G. V. Smirnov: Hyperfine Interactions **97/98**, 551 (1996)