

動的核偏極を用いた元素選択磁気共鳴力顕微鏡の開発

Element-selective magnetic resonance force microscopy using dynamic nuclear polarization

神戸大学 大道英二

カンチレバーを用いた磁気共鳴力顕微鏡 (MRFM) による核磁気共鳴 (NMR) イメージングは、ナノスケールの空間分解能で NMR 信号を得ることができる新しい手法である。これまでの報告では感度的な問題から検出可能な核が ^1H 核に限られている。しかし、異なる核種についても選択的に NMR イメージングが可能になれば、得られる情報が飛躍的に増大する。例えば、有機分子を構成する主要な元素である炭素は有望な核種の一つに挙げられる。しかし、NMR 測定に必要な核スピンをもつ ^{13}C 核は自然存在比で 1% 程度しか存在しないため、その検出は容易ではない。このような問題を解決する方法として動的核偏極 (DNP) は有望な候補の一つに挙げられる。DNP 測定ではミリ波を用いて電子系の高いスピン偏極度を核スピン系へと移行することで NMR 信号を増強する技術である。この技術が可能になれば将来的には生物、化学分野で重要な役割を担う様々な核種 (例えば、 ^{19}F 核) の NMR イメージングが可能になる。

本研究ではこの目的に向け、(1) 機械的検出による DNP 測定系の構築ならびに (2) 微小磁気チップ付き MRFM 用プローブの作製を行った。前者では、機械的に NMR 信号を検出するために必要な RF 信号系とカンチレバー変位検出系の構築を行った。核スピンの緩和時間は電子スピンの緩和時間に比較して長いことから、通常の磁化変調ではなく高速断熱通過による検出法を採用した。この方法では RF 信号の高速周波数掃引を周期的に行うことで NMR 信号に伴うカンチレバーの固有振動数変化を測定する。また、DNP 測定に必要なミリ波光学系についてもミリ波パワーアンプ、PIN ダイオードスイッチなどを用いて構築した。構築した RF 測定系を用いて実際に ^1H -NMR 信号の検出テストを行ったところ、現状の測定感度では NMR 信号の検出には至らなかった。測定結果の解析から、市販品よりもさらにバネ定数の小さいカンチレバーによる高感度化の必要性が明らかになった。

そのため、本研究では微小磁気チップ付き超低ばね定数カンチレバーの開発を行った。カンチレバーは SOI 基板と呼ばれる 3 層構造基板に対し、ドライ/ウェットプロセスを併用して作製した。実際に作製したカンチレバー上に標準試料を搭載し、ミリ波領域で磁化検出電子スピン共鳴 (ESR) 測定を行ったところ 160 GHz までの周波数領域で $g=2$ 付近に ESR 信号の検出に成功した。さらに MRFM 測定を可能にするために必要な微小磁気チップの作製に向け、電子線描画装置の立ち上げならびに条件出しを行った。今後は厚さが 300 nm の SOI 基板を用いて微小磁気チップ付きカンチレバーの作製、評価を行う予定である。将来的には超低ばね定数カンチレバーと NMR 測定系を組み合わせることで NMR イメージング測定を可能にし、多核種の信号検出につなげていきたい。