

1. 研究課題名：非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録

2. 研究期間：平成18年度～平成22年度

3. 研究代表者：長 康雄（東北大学・電気通信研究所・教授）

4. 研究代表者からの報告

(1) 研究課題の目的及び意義

近年、情報量の増大から大量かつ高速に情報を蓄積する技術への要求が高まっている。現在最も広く使用されている磁気記録の記録密度は理論限界に近づきつつあり、1 Tbit/inch² を超える記録密度を持つポスト磁気記録の研究が各国の重要な研究課題と位置づけられている。一方強誘電体の分極壁は1、2 単位格子程度で強磁性体のそれより格段に薄く、そのドメインサイズも強磁性体のドメインサイズよりはるかに小さい。よって、この強誘電体の極微細なドメインを人工的に制御できれば今までにはなかった超高密度情報記録素子が得られると考えられる。

しかし、永久磁石はあるが永久電石が存在しないように、強誘電材料中の永久分極は、表面電荷により遮蔽されるため、単なる純電気的手法では観測できなかった。これが、実用的な強誘電体記録が存在しなかった大きな理由である。

一方、本研究グループでは、強誘電材料の分極分布がサブナノスケールで観測できる「走査型非線形誘電率顕微鏡」(SNDM)を開発し、顕微鏡プローブを記録再生のピックアップに用いた強誘電体記録に関する研究成果を上げてきた。

本研究ではこれら基礎から応用まで総て純国産の技術を更に飛躍的に発展させ実用に供するべく、人工的に作製可能で物理的に安定な最小の強誘電ナノドメインドットの大きさや強誘電性の消失する限界の試料厚の確定、スイッチングスピードの詳細な計測や強誘電体のドメイン壁の実測などの基礎的研究を行うことを第一段階の目的とする。更に、これらの結果と新開発の非接触 SNDM 法等の SNDM 関連技術を組み合わせ、プローブメモリ技術の問題を根本から解決する実用化技術として発展させることを最終目標として掲げる。具体的には、シングルプローブ SNDM 記録再生装置を用いた 10 Tbit/inch² 以上の記録密度における記録再生、データ書き込み速度 1 Gbit/sec 以上の達成等の要素技術の確立、および高速記録再生可能な SNDM 強誘電体記録再生装置の完成を目標とする。

(2) 研究の進展状況及び成果の概要

初年度は超高密度 SNDM プローブメモリ実現のための学理に関する研究を開始し、以下のような成果を得た。

まず、ナノドメインマニピュレーション専用 SNDM の開発を開始した。本装置は1ナノメートルの繰り返し精度でピンポイントに媒体の特定部を狙うドメインマニピュレーションを正確に行うための十分な位置決め精度を持つ SNDM 装置であり、位置補正無しで 0.18 nm/分のドリフトに対する基本性能を持つことが確認された。更に新開発のマーク検出によるドリフト補正機能を作動させると、有意な位置ずれは検出されなかった。この装置を用い 2.8 nmφ (82 Tbit/inch² 相当) の単一ドメインドットの生成、7.5 nmφ のドメインドットアレイの形成、及び 15 nmφ ドメインドットの生成・消去実験に成功した。

次に定比組成 LiTaO₃ 単結晶媒体におけるドメインピンニング技術の開発を開始し、ナノドメインドットの詳細な断面計測を通じて、アルゴンイオン照射による表面ダメージ層（ピンニング層として期待できる）の生成機構について明らかにした。また、薄片化単結晶媒体の広面積化を行い、14 mm 四角の均一な媒体の開発に成功した。更に強誘電体記録用の極めて精密なトラッキング技術の開発に成功し、これに加え微細加工と分極処理によるトラッキング用ナノドメインストライプパターン作製の成功も成功した。またナノドメインの長期安定性に関して、寿命予測を含めた大きな学術的成果を得た。

超高密度記録媒体用強誘電体薄膜として、LiTaO₃、LiNbO₃ 系と PZT 系の薄膜について検討し、特に PZT 系ではシングルプローブで 100 Mb/s の超高速再生が可能な証拠を得た。

また、回転ディスク (HDD) 型 SNDM プローブメモリ実験装置を用いて、実書き込み速度 10 Mbps を達成した。更に非接触 SNDM を開発し、誘電計測において世界で初めて原子双極子の明確な観測に成功した。そこで本手法を SNDM プローブメモリ装置に転用し、スケールアップ実験であるが、アクティブな非接触制御で書き込み読み取りが行えることを実証した。

5. 審査部会における所見

A (現行のまま推進すればよい)

採択時の所見を受けて研究体制に関して一部変更が行われているが、研究は当初計画に従って順調に進行している。主要購入設備である大型 ECR イオンビーム装置およびドメイン操作専用非線形誘電率顕微鏡を十分に活用して、均一厚さ薄片化 LiTaO₃ 単結晶媒体の広面積化や、プローブ位置決め精度改善および単一ドメイン極微ドット生成の最小サイズ記録更新などの成果が得られている。また、イオン照射によるドメインピンニング制御、トラッキング技法の具体化、ドメイン安定化、広帯域 FM 復調器、HDD 型プロトタイプメモリ装置製作、プローブ非接触制御と非接触読み出しの原理確認実験などについても精力的な取り組みがなされており、着実な進展が見られる。超高密度大容量記録と高速書き込み・読出しの同時達成や、薄膜記録媒質の高品質広面積化、ロバスト性確保などこれから解決すべき課題も多いが、今後の努力による研究進展が大いに期待できる。以上より、現行のまま推進すればよいと判断した。