

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月20日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560349

研究課題名（和文）ナノアンテナ励起局所的円偏光を用いた次世代超高速光直接記録への挑戦

 研究課題名（英文）Challenge of Ultrafast All-Optical Magnetic Recording Using  
Localized Circularly Polarized Light Excited by Nano-Antennas

研究代表者

大貫 進一郎 (SHINICHIRO OHNUKI)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：80386002

研究成果の概要（和文）：現行の磁気記録速度の100,000倍、記録密度は2Tbit/inch<sup>2</sup>以上を実現できる、次世代の超高速・超高密度磁気記録システムを電磁界シミュレーションにより設計した。磁気記録の高速化には円偏光を用いる光直接記録を、高密度化にはナノアンテナにより生成された局所的な円偏光と粒子状の記録媒体を利用する。設計したナノアンテナを試作し、近接場光を用いた世界初のフェムト秒レーザーによる磁気記録実証実験に成功した。

研究成果の概要（英文）：We have designed ultra fast and ultra high-density magnetic recording system using electromagnetic simulation. Our novel system is 100,000 times faster than conventional one and recording density is over 2Tbit/inch<sup>2</sup>. The system consists of plasmonic cross antennas to generate the localized circularly polarized light and bit-patterned media to store information. Nano antennas were fabricated and we had a success of an experiment of ultra fast magnetic recording using a femto laser pulse.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：マイクロ波・ミリ波、計算電磁気学

## 1. 研究開始当初の背景

現行の磁気記録速度の100,000倍を達成できる光直接記録方式が発見された。光直接記録では円偏光を利用することが必須であり、光スポットサイズがマイクロメートルオーダーのため高密度記録が困難であった。磁気ディスクの記録再生速度と記録密度の限界打破には、円偏光をナノメートルサイズで局所的に生成することが必須であり、そのためのナノアンテナを設計することが課題であった。

## 2. 研究の目的

(1) 従来の計算手法に比べ計算精度の保証が可能で、且つ分散性媒質に適用できる、時間応答解析可能な数値解析用高精度アルゴリズムを開発する。ハードウェアによる計算時間の短縮も実現する。

(2) 開発した高精度アルゴリズムにより、高速磁化反転に必要な円偏光を局所的に励起するナノアンテナを設計する。

(3) シミュレーション設計したナノアンテナを製作し、光直接記録の基礎実証を行う。

### 3. 研究の方法

(1) 複素周波数領域の積分方程式法に数値逆ラプラス変換法を併用し、高精度な電磁界時間応答解析法を開発する。またアルゴリズム及びハードウェアによる高速化を行い、従来法より高速な計算を実現する。

(2) 開発した高精度アルゴリズムを用いて、局所的円偏光を励起するナノアンテナの設計を行う。構造設計には、従来からナノ構造アンテナの形成を行ってきた連携研究者が、形状実現性の観点から検討し、設計にフィードバックする。

(3) 電子ビーム露光を使ったフォトリソグラフィを駆使してシミュレーション設計したナノアンテナを製作する。また、製作したナノアンテナにフェムト秒レーザを照射し、光直接記録の基礎実証を行う。

### 4. 研究成果

(1) 局所的円偏光の数値解析用高精度アルゴリズムを世界に先駆けて開発した。複素周波数領域の積分方程式法に数値逆ラプラス変換法を併用して、高速かつ高精度な電磁界時間応答解析を可能とした。微小金属球の時間応答解析に対して所望の計算精度で厳密界と一致すること、Finite-Difference Time-Domain 法と比較することで任意形状物体の解析にも適用可能なことを明らかにした。

(2) 積分方程式法に多重レベルの高速多重極展開法を適用し、従来に比べて100倍以上の高速化を実現した。開発したコードを並列計算に適用し、使用する計算機の台数に関わらず並列化効率がほぼ100パーセントとなることを明らかにした。また、超高速並列プロセッサ Cell/B. E. に対応した解析コードも開発し、三次元フルベクトル解析では、汎用のCPUに比べて20倍程度の高速化を実現した。

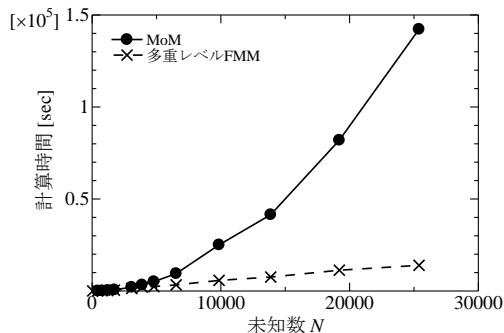


図1 高速多重極法による高速化

(3) 光直接記録による高密度記録を実現するため、局所的な円偏光を高効率に生成できるナノアンテナを設計した。円偏光を生成するアンテナは2組のダイポールアンテナから構成され、それぞれのアンテナに誘起される表面プラズモンの位相が90度ずれるアンテナ長を選択した。電磁界シミュレーションにより、直線偏光を入射した場合、中央部のギャップにおいてナノメートルオーダーの局所的な円偏光が生成できること、入射方向を変えることで右回りと左回りの円偏光を制御できることを明らかにした。

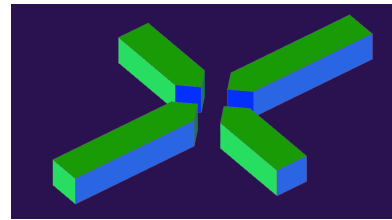


図2 局所的円偏光生成用アンテナ

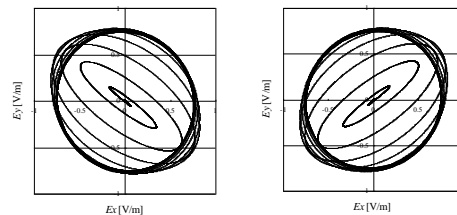


図3 電界の時間応答解析

(4) 現行の磁気記録速度の100,000倍、記録密度は2Tbit/inch<sup>2</sup>以上を実現できる、次世代の超高速・超高密度磁気記録システムを電磁界シミュレーションにより設計した。高速化には書き込みに円偏光を用いる光直接記録を、高密度化にはナノアンテナにより生成された局所的な円偏光と粒子状の記録媒体を用いる。ナノアンテナは、アンテナ下部にピークを付け、記録を行う粒子にのみ大きな電界強度が得られる構造とした。粒子状の記録媒体は、密度が2Tbit/inch<sup>2</sup>を越える粒子サイズと配置を選択した。設計したシステムでは、記録を行う粒子のみに局所的な円偏光が生成され、隣接粒子との電界強度比が2倍強となることを電磁界シミュレーションにより明らかにした。

(5) シミュレーション設計したナノアンテナを電子ビーム露光により試作し、近接場光を用いた世界初のフェムト秒レーザによる磁気記録実証実験に成功した。この実験により166 nm×120 nmの記録マークを実現し、次世代の超高速・高密度磁気記録に向け一連の検証を行った。今後は、アンテナ作成の精度を

上げ、アンテナの書込位置に対するロバスト性を検討することで、更なる高密度化が期待できる。

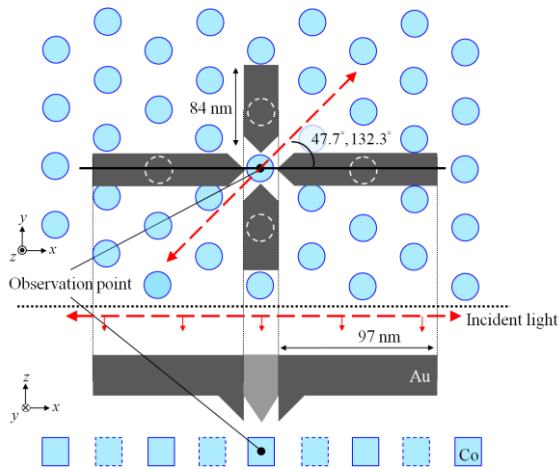


図4 光直接記録システム

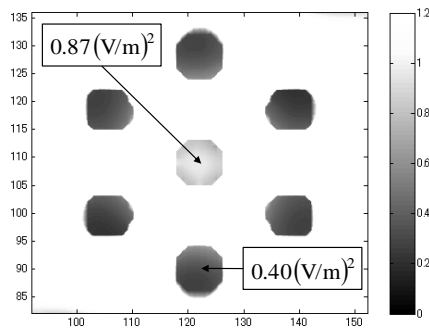


図5 中央粒子付近の円偏光強度

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計12件)

- ① S. Ohnuki, T. Takeuchi, T. Sako, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, and M. Tanaka, Coupled Analysis of Maxwell-Schrödinger Equations by Using the Length Gauge - Harmonic Model of a Nanoplate Subjected to a 2-D Electromagnetic Field -, International Journal of Numerical Modeling; Electronic Networks, Devices and Fields, 査読有, 2013, in press.  
DOI: 10.1002/jnm.1896.
- ② K. Tamura, T. Ota, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, S. Ohnuki, and K. Nakagawa, Circularly Polarized Light Generated by Plasmon Antenna for All-Optical Magnetic Recording, Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, 37, 2013, 115-118.
- ③ K. Nakagawa, A. Tajiri, K. Tamura, S. Toriumi, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, Y. Sasaki, S. Saito, M. Takahashi, and S. Ohnuki, Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Optical Near Field with Ultra Short-Time Heating”, Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, 37, 2013, 119-122.  
DOI:10.3379/msjmag.1302R016
- ④ 平野正樹, 岸本誠也, 大貫進一郎, ヘテロジニアス CPU によるモーメント法の高速化, 電子情報通信学会論文誌 C, 査読有, J96-C, 6, 2013, 149-150.
- ⑤ K. Nakagawa, Y. Osa, A. Tajiri, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, Y. Sasaki, K. Inoue, S. Hinata, G. X. Du, S. Saito, M. Takahashi, and A. Itoh, Thermally Assisted Magnetic Recording Test Method Applying Surface Plasmon Antenna Stacked on Granular Media, Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, 36, 2012, 58-61.  
DOI: 10.3379/msjmag.1110M001
- ⑥ T. Ota, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, S. Ohnuki, H. Iwamatsu, A. Tsukamoto, and A. Itoh, Dependence of Circularly Polarized Light Excited by Plasmon Aperture on Relative Position to Magnetic Particles for All-Optical Magnetic Recording, Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, 36, 2012, 66-69.  
DOI: 10.3379/msjmag.1108M001.
- ⑦ S. Kishimoto, S. Ohnuki, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, and W. C. Chew, Time Domain Analysis of Nanoscale Electromagnetic Problems by a Boundary Integral Equation Method with Fast Inverse Laplace Transform, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 査読有, 26, 8/9, 2012, 997-1006.  
DOI:10.1080/09205071.2012.710315
- ⑧ S. Ohnuki, T. Mochizuki, K. Kobayashi and T. Yamasaki, Optimization of Field Decomposition for a Mode Matching Technique, IEICE Trans. Electron, 査読有, E95-C, 1, 2012, 101-104.  
DOI: 10.1587/transele.E95.C.101
- ⑨ S. Kishimoto and S. Ohnuki, Error Analysis of Multilevel Fast Multipole Algorithm for Electromagnetic Scattering Problems, IEICE Trans. Electron, 査読有, E95-C, 1, 2012, 71-78.  
DOI: 10.1587/transele.E95.C.71.
- ⑩ M. Hirano and S. Ohnuki, Fast Computation for Electromagnetic Scattering Problems Using a

Heterogeneous Multi-Core Processor, IEICE Electronics Express, 査読有, 8, 16, 2011, 1330-1336.

DOI:10.1587/elex.8.1330

- ⑪ K. Nakagawa, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, A. Itoh, and A. Tsukamoto, Confined Circularly Polarized Light Generated by Nano-Size Aperture for High Density All-Optical Magnetic Recording, Journal of Applied Physics, 査読有, 109, 07B735, 2011.

DOI:10.1063/1.3556924

- ⑫ S. Ohnuki and Y. Kitaoka, Analysis of Transient Electromagnetic Scattering from Two-Dimensional Open-Ended Structures by Numerical Inversion of Laplace Transform, IEICE Trans. Electron. 査読有, E94-C, 1, 2011, 68-71.

[学会発表] (計 6 1 件)

- ① S. Kishimoto, S. Ohnuki, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, S. Y. Huang, and W. C. Chew, Transient Analysis of Electromagnetic Fields of Nano Structures by Integral Solvers with FILT, 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory, May 20-24, Hiroshima, Japan, 2013 (Invited).
- ② 大貫進一郎, 加藤司, 芦澤好人, 中川活二, 高密度光直接記録に向けたプラズモニッククロスアンテナの設計, 電子情報通信学会 2013 年 総合大会, CS-5-4, 2013 年 3 月 20 日, 岐阜大学(依頼講演).
- ③ H. Iwamatsu, T. Kato, S. Ohnuki, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, and W. C. Chew, Analysis of Electromagnetic fields of a Plasmonic Cross Antenna with Bit-Patterned Media, 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI Radio Science Meeting, July 8-14, Chicago, Illinois, USA, 2012.
- ④ 岸本誠也, 大貫進一郎, 芦澤好人, 中川活二, Weng Cho Chew, 積分方程式法と FILT 法によるナノ領域過渡電磁界解析, 電気学会研究会資料, EMT-12-067, 2012 年 5 月.
- ⑤ 岩松寛, 加藤司, 大貫進一郎, 芦澤好人, 中川活二, Weng Cho Chew, 光直接記録のためのプラズモニッククロスアンテナと粒子媒体の解析 - 粒子媒体の配置パターンによる電界強度の検討 -, 電気学会研究会資料, MAG-11-110, 2011 年 11 月.
- ⑥ H. Iwamatsu, T. Kato, S. Ohnuki, Y.

Ashizawa, and K. Nakagawa, Nano-Sized Circularly Polarized Light in Medium Generated by an Asymmetric Cross Antenna, 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI Radio Science Meeting, July 3-8, Spokane, Washington, USA, 2011. 他 5 5 件

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 1 件)

名称 : 情報記録ヘッド, 情報記録装置, 情報記録方法及び光デバイス  
発明者 : 中川活二, 芦澤好人, 大貫進一郎, 伊藤彰義, 塚本新  
権利者 : 同上  
種類 : 特許  
番号 : 特開 2012-22760  
取得年月日 : 2 2 年 7 月 1 6 日  
国内外の別 : 国内

[その他]

ホームページ等  
<http://www.cem.ele.cst.nihon-u.ac.jp>  
<http://www.ele.cst.nihon-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大貫 進一郎 (OHNUKI SHINICHIRO)  
日本大学・理工学部・准教授  
研究者番号 : 80386002

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

中川 活二 (NAKAGAWA KATSUJI)  
日本大学・理工学部・教授  
研究者番号 : 20221442

伊藤 彰義 (ITO AKIYOSHI)  
日本大学・理工学部・教授  
研究者番号 : 60059962

塚本 新 (TSUKAMOTO ARATA)  
日本大学・理工学部・准教授  
研究者番号 : 30318365

芦澤 好人 (ASHIZAWA YOSHITO)  
日本大学・理工学部・助教  
研究者番号 : 10453911