

金属ナノアンテナの生成光解析 Analysis of Generated Light by Nano Metal Antennas

○大西 峻平¹, 大貫 進一郎², 芦澤 好人³, 中川 活二³Ryohei Ohnishi¹, Shinichiro Ohnuki², Yoshito Ashizawa³, Katsuji Nakagawa³

Abstract: All-optical magnetic recording with circularly polarized light has been proposed for ultra high-speed magnetic recording. To realize high-density magnetic recording, we have designed a recording system using nano antennas. In this report, polarization control of the generated light is investigated for various incident waves.

1. はじめに

現在、磁気記録における記録速度は限界に達しつつある。この限界を打破するために、円偏光を用いた光直接磁気記録が注目されている^[1]。著者らは高記録密度化に向けた、ナノアンテナと粒子状記録媒体を用いた高密度光直接磁気記録を提案してきた^{[2][3]}。現在、微細加工技術の進展により、アンテナ形状が再現可能となったものの、数 nm 程度の加工ずれが生じてしまう。本報告では、加工ずれを想定したアンテナモデルに対して入射光を設計し生成光の偏光を制御する手法を検討する。

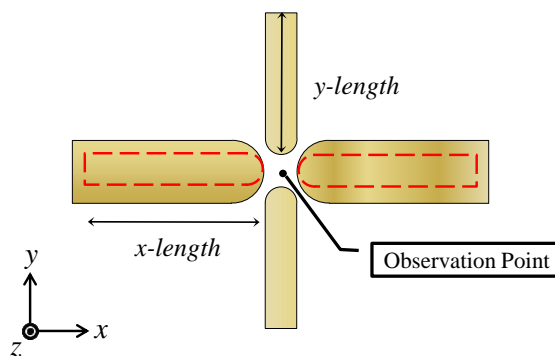


図 1 対称な加工ずれを想定したモデル

2. 解析手法

本研究では、ADE-FDTD(auxiliary differential equation)法^[4]を用いる。金属の周波数分散性を考慮するため、本手法では、式(1), (2)で示す Maxwell 方程式に、式(3), (4)で示す分極及び電極ベクトルを組み合わせナノアンテナの電磁界解析を行う。

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (2)$$

$$\mathbf{P} = Nq\mathbf{u} \quad (3)$$

$$\mathbf{J} = \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} \quad (4)$$

ここで、 \mathbf{u} は変位ベクトル、 \mathbf{E} は全電界、 \mathbf{P} は分極ベクトル、 N は電子の数、 \mathbf{J} は電流ベクトルとする。

得られた数値結果は式(5)に示す円偏光度 C' により評価を行う。

$$C' = \frac{\left| 2\langle E_x(t)E_y(t)\sin(\delta_x - \delta_y) \rangle \right|}{\left| \langle E_x^2(t) \rangle + \langle E_y^2(t) \rangle + \langle E_z^2(t) \rangle \right|} \quad (5)$$

ここで、 $\langle \cdot \rangle$ は時間平均、 E_x , E_y , E_z は電界の各成分、 δ_x , δ_y は電界の x 成分、 y 成分間の位相差である。

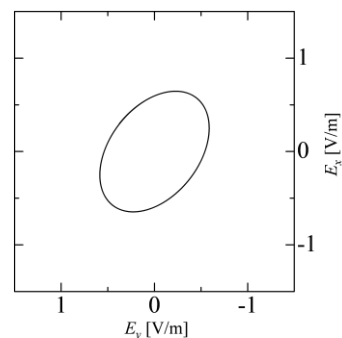


図 2 直線偏光を入射した際の生成光

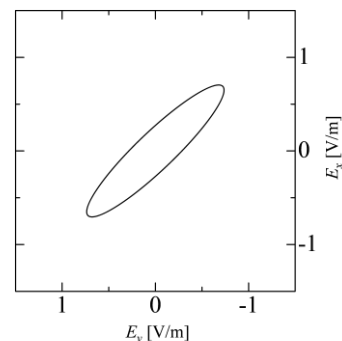


図 3 設計した入射光

3. 解析結果

図 1 に対称な加工ずれを想定したモデルを示す。赤い点線の理想形状から x 軸方向に 5nm, y 軸方向に 10nm 伸ばした加工ずれを想定する。アンテナの材質は金とし、入射光として波長 780nm の平面波を $-z$ 軸方向から入射する。アンテナ中央及び z 軸方向にアンテナから 10nm 離れた場所に観測点を設定する。

図 2 に対称なモデルに対して直線偏光を入射した際の観測点でのリサージュ図を示す。電界の軌跡は楕円を描き、円偏光度は理想形状の $C'=1.0$ に比べ $C'=0.916$ と加工ずれにより低減する。

円偏光度 $C'=1.0$ を実現するためアンテナ加工ずれの影響を調査し、図 3 に示すような入射光を設計した。この場合のリサージュ図は円を描き、 $C'=1.0$ に改善される。

続いて図 4 に示す右側のアンテナのみ加工ずれを想定したモデルについて検討する。このモデルに対しても図 1 の場合と同様の手法で入射光を設計する（図 5 参照）。この場合における観測点でのリサージュ図は円を描いていることを確認した。しかし円偏光度は $C'=0.834$ と低減していることがわかった。これは図 6(a) のように、観測点に電界の E_z 成分存在するためである。非対称モデルの高円偏光度化に向け、電界の E_z 成分を打ち消すために斜めから光を入射させる。 E_x - E_y 成分のリサージュ図は円を描くことを確認し、図 6(b) の E_z - E_x 成分のリサージュ図を見ると E_z 成分が打ち消されていることがわかる。円偏光度 C' を計算すると $C'=1.0$ と改善されることが確認された。

4. まとめ

本報告では光直接記録用アンテナの加工ずれに対しての入射光による偏光の制御について検証した。アンテナが対称的な加工ずれを有する場合、入射光を適切に設計することで円偏光度を改善できることを確認した。アンテナが非対称な加工ずれを有する場合、設計した光を斜めから入射させることで円偏光度を改善できることを確認した。

5. 謝辞

本研究の一部は、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた。

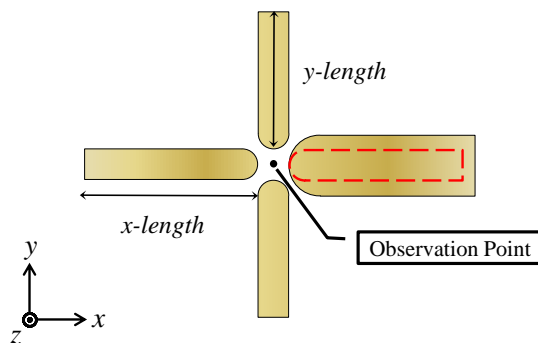


図 4 非対称な加工ずれを想定したモデル

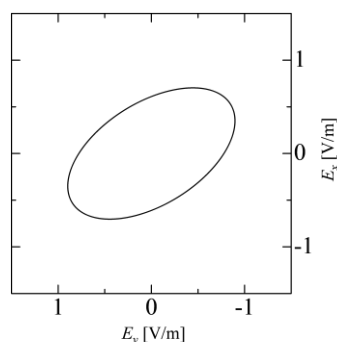


図 5 設計した入射光

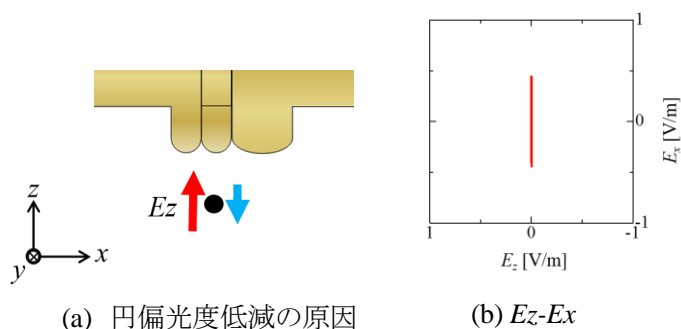


図 6 斜め入射による円偏光度の改善

6. 参考文献

- [1] C. D. Stanciu, F. Hansteen, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing : Phys. Rev. Lett., Vol.99, No.4, 047601, 2007.
- [2] S. Ohnuki, T. Kato, Y. Takano, Y. Ashizawa, and K. Nakagawa, Radio Science, Vol.50, pp.29-40, 2015.
- [3] 大西峻平, 立澤圭輔, 山口隆志, 大貫進一郎, 芦澤好人, 中川活二, “プラズモニックアンテナの局所偏光解析-入射光による偏光制御-“ 2017 IEICE ソサイエティ大会 C-1-7
- [4] 大貫進一郎, 大西峻平, 立澤圭輔, 山口隆志, 芦澤好人, 中川活二, “プラズモニックアンテナの局所偏光制御” 信学技報 EST 2017, pp101-104, 7 月