ADE-FETD 法によるレーザー媒質を含むプラズモニック導波路の解析

ADE-FETD Simulation for plasmonic waveguide including laser material

岡山大工 [1]，岡山大院自然 [2]，°岩井 亮大 [1]，鶴田 健二 [2]，三澤 賢明 [2]

Okayama Univ., °Ryota Iwai, Kenji Tsuruta, Masaaki Misawa

E-mail: tsuruta@okayama-u.ac.jp

近年, プラズモニック構造に動的媒質を用いたアクティブプラズモニクスの研究が盛んに行われている．解析モデルとして，FDTD 法を用いたレーザー媒質の計算が多数報告されている[1][2]が，光によるキャリアの遷移確率が線形なモデルを使用しており, 厳密な計算にはなっていない．また，時間領域差分(FDTD)法と時間依存密度汎関数(TDDFT)法を組み合わせた方法は計算コストが非常に高く, 大規模な構造には不向きであるため, これまで適用範囲が微小ナノ構造[3]に限定されてきた.

そこで, 本研究では大規模構造の計算に適用可能な陰解法による計算手法を提案する. 上で述べたキャリアの解析モデルよりも理論的に厳密な, キャリアの遷移確率が非線形であるレーザー媒質[4]を補助微分方程式(ADE: Auxiliary Differential Equation)として，時間領域有限要素法(FETD: Finite Element Time Domain)法に適用し，4 準位系レーザー媒質をプラズモニック導波路中に組み込んだ解析を行った. 計算の安定化の手法として 3 種類の方法を組み合わせて計算を行った．まず，時間刻み幅の動的修正により安定化を図る方法として一般化 α 法を使用した．また，解を安定化するためにヤコビアンの更新には修正ニュートン法を用いた. これにより通常のニュートン法よりも細かい刻みで解を見つけることができる. そして各時間に対して, 各方程式を逐次的に解く分離法（図 1）を用いることで, 修正ニュートン法を非線形要素にダイレクトに適用し, 解の安定化を行った.

図 2 にレーザー媒質のキャリアレートを示す．上が分離法を用いない時の結果で 6[ps]以降で発散しているが, 下は分離法を用いた場合で，解の収束に成功していることがわかる.

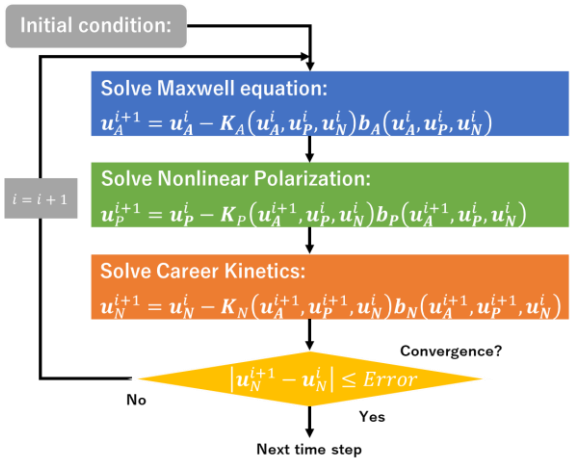

Fig.1 Proposed algorithm of ADE-FETD method.

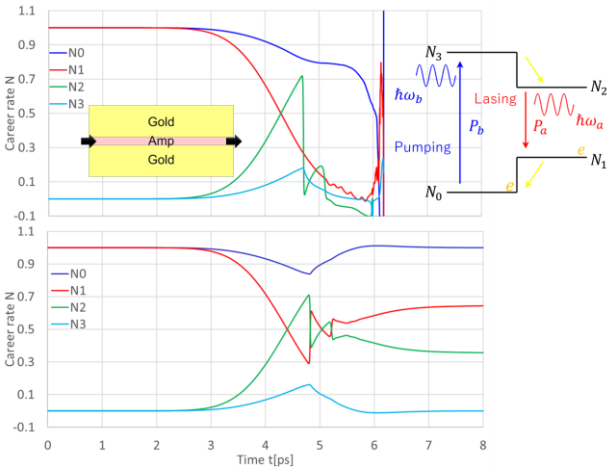

Fig.2 Time evolution of carrier-dynamics with a conventional FETD (upper panel) and proposed ADE-FETD method (lower panel).

参考文献

[1] S. Droulias, T. Koschny, K. Kafesaki, and C.M.Soukoulis, Nanomater. Nanotechnol. **9**, 1 (2019)
[2] A. Veltri *et al.*, Sci. Rep. **6**, 33018 (2016).
[3] T. Takeuchi, M. Noda, and K. Yabana, ACS Photonics **6**, 2517(2019).
[4] S.-H Chang and A. Teflove, Opt. Express **12**, 3827 (2004).