

## 可視近赤外領域におけるマルチスペクトルプラズモニックカラーフィルタの開発

|       |  |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: ja<br>出版者: 静岡大学<br>公開日: 2020-06-11<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 宮道, 篤孝<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="https://doi.org/10.14945/00027491">https://doi.org/10.14945/00027491</a>                      |

(課程博士・様式7) (Doctoral qualification by coursework, Form 7)

# 学位論文要旨

Abstract of Doctoral Thesis

専攻：ナノビジョン工学専攻 氏名：宮道 篤孝

論文題目：

可視近赤外領域におけるマルチスペクトルプラズモニックカラーフィルタの開発

論文要旨：

本論文は、可視から近赤外の波長領域においてマルチスペクトルな波長選択性を有するプラズモニックカラーフィルタの開発を目的とする。イメージセンサ上にオンチップ形成することにより、可視画像と近赤外画像の同時弁別取得機能を有する高機能イメージセンサが実現する。近赤外領域の光は距離計測情報や生体・物性情報など、カラー画像以外の情報取得に有用であることや機械学習によって画像認識性能が格段に向上したことから、可視近赤外イメージセンサへの関心が急激に高まっている。可視光情報と近赤外光情報を同時に画像として取得するため、撮像機能を拡張し、画像認識力を大幅に向上する新たなイメージング・センシング技術として自動運転や画像診断への応用が期待されている。

イメージセンサに用いられる一般的な有機カラーフィルタは、Si フォトダイオードの感度波長範囲である近赤外領域に2次透過が存在する。一般的には、レンズなどの光学系とセンサの間に配置される外部赤外カットフィルタにより除去されるため、可視光と同時に撮像することは構成上不可能である。既存の撮像システムを用いて可視光と近赤外光を同時に画像化するためには、複数のセンサを用いた個別の撮像や、光学素子を用いた複数回の撮像が必要であった。

筆者らは、可視光と近赤外光の同時イメージングを実現するため、金属表面上のナノ凹凸構造に起因するプラズモニックカラーフィルタリングに着目した。特定波長の回折光により金属表面に自由電子の振動集団である表面プラズモンが共鳴励起される。励起された表面プラズモンは裏面の金属構造によって光と再結合することにより、伝搬光として透過する。透過光は、表面プラズモンの波数と一致する波数成分のみであるため、構造周期によって波長選択性が生じる。これまでに、ホールアレイ構造をはじめ、グレーティング構造やMetal-Insulator-Metal構造など様々なナノ構造パターンによって色鮮やかな透過光が報告されており、新たな光学素子としてイメージングデバイス、ディスプレイ、太陽電池への応用が期待されている。しかしながら、これまでに報告されたプラズモニックカラーフィルタは、可視域や赤外域のみを透過帯とする構造が多く、可視から近赤外の全域を対象とする構造の報告例はほとんどない。

本研究では、サブ波長の開口を有するナノサイズの周期的な凹凸構造を提案し、可視域から近赤外域にかけて波長選択性を示すプラズモニックカラーフィルタを設計した。金属の種類には、可視から近赤外領域に表面プラズモン共鳴を励起すること、金属による光学的な吸収損失が少ないことを選定条件とし、銀を採用した。有限差分時間領域法を用いた透過スペクトルの数値解析により、周期 200 nm ~700 nm の構造において可視から近赤外域への透過ピーク波長のシフトを明らかにした。構造パラメータを透過率に対して最適化した。連続波入射光を用いた定常状態解析により、ピーク波長がビーム状の透過光として中心開口から垂直に伝搬することを明らかにした。

半導体製造プロセスとして一般的な、電子線リソグラフィ、真空蒸着法、集束イオンビームミリングを用いて、ガラス基板上に同心円状の周期凹凸構造を作製した。キセノン光源を用いた集束光学系にて白色光を入射し、透過型光学顕微鏡により透過光を観察した。観察の結果、100 nm 程度の中心開口部から、三原色である赤、緑、青色の光透過を観察した。また、周期を細かく作製することにより中間色である、イエロー、マゼンタ、シアンの透過光を観察し、マルチカラーフィルタリングを観察実証した。透過スペクトルの計測により、周期 300 nm ~700nm の構造において、波長 420 ~755 nm にピーク波長を示す透過スペクトルを計測し、可視から近赤外域にかけたマルチスペクトルな波長選択性を実証した。

センサ画素サイズに適応するフィルタとして同心円状周期凹凸構造を正方配列したアレイフィルタを作製した。周期 300 nm ~ 700 nm を有する単一開口構造と同様のマルチカラーフィルタリングを観察実証した。透過スペクトルを用いた色度評価により、標準 RGB と同等の色度を示した。また、中間色の色度評価では、標準値を超える色度値を示し、提案構造における透過光の高い色純度を実証した。同心円状周期凹凸構造を有するプラズモニックカラーフィルタを受光部分が四分割された Si フォトダイオードチップ上に実装した。広帯域白色レーザー光源を用いた分光感度計測系を構築し、試作したチップの電流電圧特性を評価した。

可視から近赤外域において高透過率かつ狭帯域な波長選択性を示すフィルタ開発を目的として、薄膜凹凸構造を有するナノスリットアレイを提案した。金属凹凸構造の膜厚を光が透過しない最低限の厚さにまで薄膜化させることにより、両界面でのより効率的な表面プラズモンの結合によって金属膜を介して光を透過する。数値解析により、凹凸部分に 20 nm 幅のナノスリットの開口を配置することにより、表面プラズモンの振動モードを制御し、より狭帯域なスペクトル分布とピーク波長の高い透過率を達成した。膜厚 20 nm のアルミニウムを用いた薄膜凹凸構造の数値解析では、周期 200 nm ~700 nm までの増加に対して、波長 400 nm ~1000 nm にかけてピーク波長のシフトと、約 50%~60%の透過率の高い透過率を示した。構造パラメータを調整することにより、30 nm 以下の FWHM を明らかにした。本構造における透過ピーク波長は、紫外から赤外領域までの波及性を有しており、撮像可能領域の広帯域化の実現による新たなマルチスペクトルイメージング技術への応用が期待される。