

論文内容の要旨

博士論文題目

オンチップ微小光学素子を利用した撮像素子の多機能化に関する研究

氏名 香山 信三

(論文内容の要旨)

本論文は、撮像素子上に形成したオンチップ微小光学素子により撮像素子の多機能化を目指した内容に関するものである。

まず、可視光と近赤外光を同時に撮像できる撮像素子に関して、オンチップで実装可能な分光フィルタについて述べている。撮像素子に実装する分光フィルタは従来のカラー撮像素子に搭載されている赤フィルタ (R)、緑フィルタ (G)、青フィルタ (B) に加え、新たに近赤外フィルタ (IR) を追加した。RGB と IR フィルタを同一撮像素子に搭載することで、従来の機械的なフィルタ切換機構が不要となり、故障の可能性を低下させることができる。電子的に RGB-IR の信号演算で色演色性の劣化を抑えながら昼間には可視画像、夜間では近赤外画像を提供することができることを示した。またオンチップの RGB-IR フィルタを無機材料の薄膜で構成されるフォトニックカラーフィルタで作製し、高い信頼性と良好な耐光性を得ることに成功した。

更に、近赤外成分除去による画質劣化を抑制する新しいフォトニックカラーフィルタについて述べている。可視光から近赤外成分を差分することにより、通常信号のダイナミックレンジ (Dynamic Range : DR) と信号ノイズ比 (Signal to Noise Ratio : SNR) は劣化する。本章では、新しい多層膜フィルタの設計手法である 2 層の欠陥層を用いる手法を導入することで、可視光の帯域を広げ、更に近赤外光の帯域を狭くし差分による劣化を防ぐための近赤外規格化フィルタを導入した。その結果、SNR と DR の信号劣化を 2300K から 6500K までの広い色温度照明下でも改善できることを確認した。

単眼レンズで立体撮像するための多眼撮像素子について述べている。撮像素子に搭載した光の入射方向により光を振り分けるビームスプリッタと 100nm 幅で 800nm の高さのパターン状に設計したマイクロレンズにより実現した。構造を最適化することにより隣り合った 2 画素間のクロストークを 2 眼撮像素子では 6%、4 眼撮像素子では 7% とすることができた。

以上のように、撮像素子上にオンチップで 1 次元フォトニックカラーフィルタにより RGB と IR フィルタを実現し、良好な可視画像と近赤外画像を得ることに成功し、オンチップでビームスプリッタとマイクロレンズを実装することにより単眼レンズで立体撮像を実現した。これらの結果は、光学や光電子工学などに基づく高機能撮像素子技術の発展に貢献すると期待される。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、撮像素子上に形成したオンチップ微小光学素子により撮像素子の多機能化を目指した内容に関するものである。

1章では、カメラの発生起源から、現在でのカメラがどのように活用されているかについてまとめている。

2章では、3章以降で必要になる技術を解説しながら、これまでの研究背景、課題について述べている。

3章では可視光と近赤外光を同時に撮像できる撮像素子に関して、オンチップで実装可能な分光フィルタについて述べている。撮像素子に実装する分光フィルタは従来のカラー撮像素子に搭載されている赤フィルタ (R)、緑フィルタ (G)、青フィルタ (B) に加え、新たに近赤外フィルタ (IR) を追加した。RGB と IR フィルタを同一撮像素子に搭載することで、従来の機械的なフィルタ切換機構が不要となり、故障の可能性を低下させることができる。電子的に RGB-IR の信号演算で色演色性の劣化を抑えながら昼間には可視画像、夜間では近赤外画像を提供することができることを示した。またオンチップの RGB-IR フィルタを無機材料の薄膜で構成されるフォトニックカラーフィルタで作製し、高い信頼性と良好な耐光性を得ることに成功した。

4章では、近赤外成分除去による画質劣化を抑制する新しいフォトニックカラーフィルタについて述べる。可視光から近赤外成分を差分することにより、通常信号のダイナミックレンジ (Dynamic Range : DR) と信号ノイズ比 (Signal to Noise Ratio : SNR) は劣化する。本章では、新しい多層膜フィルタの設計手法である2層の欠陥層を用いる手法を導入することで、可視光の帯域を広げ、更に近赤外光の帯域を狭くし差分による劣化を防ぐための近赤外規格化フィルタを導入した。その結果、SNR と DR の信号劣化を 2300K から 6500K までの広い色温度照明下でも改善できることを確認した。

5章では、単眼レンズで立体撮像するための多眼撮像素子について述べる。撮像素子に搭載した光の入射方向により光を振り分けるビームスプリッタと 100nm 幅で 800nm の高さのパターン状に設計したマイクロレンズにより実現した。構造を最適化することにより隣り合った2画素間のクロストークを2眼撮像素子では6%、4眼撮像素子では7%とすることができた。

最後に、第6章では、各章の総括を行い、残された課題について議論し、今後の展開について述べている。

以上のように、撮像素子上にオンチップで1次元フォトニックカラーフィルタにより RGB と IR フィルタを実現し、良好な可視画像と近赤外画像を得ることに成功し、オンチップでビームスプリッタとマイクロレンズを実装することにより単眼レンズで立体撮像を実現した。これらの結果は、光学や光電子工学などに基づく高機能撮像素子技術の発展に貢献すると期待される。その成果は、学術的に新しい知見を見出していると判断され、審査委員一同は、本論文が博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認めた。