



モード操作 GHz 光コムを用いた マルチ合成波長デジタルホログラフィ

徳島大学 大学院社会産業理工学研究部
山際将具, 南川丈夫, 安井武史
情報通信研究機構未来 ICT 研究所
諸橋 功
宇都宮大学 大学院工学研究科
山本裕紹

1. はじめに

デジタルホログラフィ (DH) は、物体からの光 (物体光) と参照光の干渉縞を CCD 等のデジタル撮像素子で記録し、その干渉縞画像を用いてコンピュータ内で波面伝搬計算を行うことで、物体光の振幅と位相を再生する技術であり、工業やセキュリティ、医学生物学分野など幅広く応用されている¹⁻⁷⁾。特に再構成される位相情報は物体の凹凸情報を持つため、3次元形状計測を可能にする。しかし、得られた位相情報は $0 \sim 2\pi$ の範囲であるため、光波長を上回る凹凸に対しては、位相分布の折り返し (位相ラッピング) が発生する。そのため、通常は位相アンラッピング処理⁸⁾を行うが、複雑形状や不連続形状に対する適用は制限される。その結果、DH の測定可能な最大凹凸は、波長オーダー (サブ μm) に制限される。

このような制限を解消するため、近年では、波長の異なる複数のレーザ光から生成される合成波長を利用した、多波長 DH による最大測定可能凹凸の拡大が試みられている⁹⁻¹⁹⁾。しかし、単一の合成波長の利用では、最大測定可能凹凸は数 μm 程度に留まっていた。我々は、最大測定可能凹凸を更に拡大するために、光周波数シンセサイザ²⁰⁻²²⁾とコヒーレント・カスケード・リンク技術を組み合わせたマルチ合成波長 DH を提案した^{18,19)}。光周波数シンセサイザとは、波長可変・狭線幅 CW レーザーを光コムの異なるモードに逐次位相同期することにより、周波数標準と同等の高い波長安定性と波長確度を有しながら、広い範囲で波長可変な光源である。この光周波数シンセサイザを光源とすることにより、広いダイナミックレンジでの合成波長生成が可能になり、マルチ合成波長に対応した位相イメージの取得が可能になる。更に、それらを長波長側から短波長側の合成波長、さらに単一光波長の位相イメージへとコヒーレントかつカスケードに連続リンク (コヒーレント・カスケード・リンク) することで、最長合成波長の測定可能範囲と単一光波長の波長精度を併せ持つ位相イメージングが可能になる。しかしながら、光周波数シンセサイザは選択した光コムモード 1 つ 1 つに対して位相同期をしなければならず、データ取得に時間がかかるといった問題があった。

そこで、この問題を解決するために我々はモード操作光コムを用いたマルチ合成波長 DH を提案している²³⁻²⁷⁾。提案手法は、空間的に分離させたコムモードを空間光変調器で高速に選択し、生成された合成波長から求められた高さ分布をコヒーレント・カスケード・リンクすることによって、波長オーダーの高さ分解能を有しながら、高さダイナミックレンジの広い形状計測を高速に実現する。本論文では GHz 光コムに対してモード操作を行い、抽出した 5 つのコムモードから 4 つの合成波長を生成し、コヒーレント・カスケード・リンクにより、数 $10 \mu\text{m}$ と 10 mm の段差を持つ段差形状物体を計測した結果を紹介する。

2. 原理

2-1 DH の原理

典型的な DH のセットアップを図 1 に示す。光源から射出されたレーザ光はビームスプリッタによって物体光側と参照光側の 2 つに分離される。物体光側では配置された物体にレーザ光が照射され、物