

画角 170°の超広角メタレンズ試作と超広角メタレンズ 特有のゴーストノイズの原因とその対策

株式会社ニコン 光学本部 要素開発部 第二開発課
鳥羽英光

1. はじめに

メタサーフェスは、光の振幅、位相、偏光等を制御する「メタアトム」と呼ばれる波長以下の構造が 2 次元的に配置された光学素子である。レンズはそのメタサーフェスの有望な用途の 1 つであり、メタレンズと呼ばれる。レンズ用途のメタアトムとしては偏光依存の少ない位相変調素子であるサブ波長サイズの柱状の構造が代表的なものになる。初期のメタレンズの研究では、レンズの光軸上の集光のみを議論するものが多かったが、2016 年に Arbabi らがメタレンズを 2 枚用いた $f/0.9$ 、画角 60 度ダブルレットレンズを提案し、入射角 25 度でも 0.9 以上の Strehl 比が得られることを実証した¹⁾。さらに、2020 年には Shalaginov らが、画角がほぼ 180 度の超広角メタレンズを提案、 $5.2\mu\text{m}$ の波長用のメタレンズを製作し実証した²⁾。この Shalaginov らの超広角メタレンズは 1 つの平面レンズのみで構成されており、魚眼レンズを非常にコンパクトにすることができる。

本稿では、Shalaginov らが提案した単一波長で動作する超広角レンズを近赤外の 850nm で設計し、試作した結果と、このタイプの超広角レンズに特有のゴーストノイズの原因とノイズの低減方法について報告する。

2. 超広角メタレンズ試作

2-1 メタレンズ光学系の設計

我々は波長 850nm に対して画角 170 度の超広角メタレンズを作製した。レンズとしてのスペックは、焦点距離 2.19mm 、F 値は $F/4$ 、メタレンズの有効径は 8mm 。メタレンズの入射側には $\phi 0.73$ のアパーチャを配置している。レンズの光路図を図 1(a)に示す。このメタレンズは単色で機能するためにバンドパスフィルタをメタレンズと撮像素子の間に挿入している。これは屋外での撮影において、 850nm 以外の光をカットするためのものである。電子線描画装置で使う標準的なウエハの厚みでは試作したい厚みのメタレンズが作れないため、我々の試作ではパターンニングした 0.525mm 厚のガラスウエハに 3mm の平行平板を貼り合わせることで厚さ 3.525mm のメタレンズ素子にしている。

2-2 メタアトムの設計

我々が試作したメタレンズを構成するメタアトムは、断面が正方形の形をした高さ $h = 800\text{nm}$ のアモルファスシリコンのピラー（四角柱）である。このピラーが周期 $a = 280\text{nm}$ の正方格子状に配置されていて、このピラーの太さによってその位置でのメタアトムに入射する光の透過位相を制御する。図 1(b)にメタアトム単体でのピラーの幅 w とメタアトムの透過率、透過位相の関係をプロットしたグラフを示す。ピラーの幅 w を振ることにより、透過率はほぼ 1 に保ったまま位相を 2π 以上変化させることができる設計となっている。図 1(b)のグラフに挿入された図はピラー型のメタアトムの単位セルの模式図である。