

二波長で機能する回折光学素子の反復設計

Iterative design of dual-wavelength diffractive optical elements

東洋大理工, ° 尼子 淳

Toyo University, ° Jun Amako

E-mail: amako@toyo.jp

二波長で機能する回折光学素子の設計では、どちらの波長に対しても高い性能が得られるように素子の凹凸形状を設計することが求められる。そのためには、ふたつの波長 ($\lambda_1 > \lambda_2$) に対する位相値を φ_1 、 φ_2 そして m_1 、 m_2 を自然数するとき、 $\text{mod}(\varphi_1 + 2\pi m_1, 2\pi) = \text{mod}(\varphi_2 + 2\pi m_2, 2\pi)$ が成立するまで凹凸を深くする、というのが従来の考え方である[1]。しかし、製作上の制約によりこの要件は必ずしも満たされるとは限らず、位相の誤差により素子性能は影響を受ける。筆者らは heuristic ではあるが効果のある設計スキームを提案し、ビーム列の生成に応用したので結果を報告する。

二波長から同じ本数のビーム列をつくる問題では、Fig.1 に示すように、ふたつのビーム列が目標点の上で重なるように回折次数を選ぶ。設計では素子の一周期を不等間隔に分割し、分割された区間毎に位相値を与える。形状の最適化にはシミュレーテッドアニーリング法を用い、コスト関数には重み係数 ω_1 、 ω_2 を導入する[2]。設計の自由度を左右するパラメータは最大位相深さ $\varphi_{\max}$ (λ_1 に対して定義) と量子化数 K である。筆者らの考えでは、 $\varphi_{\max}$ を大きく設定するだけでは不十分であり、 $\text{mod}(\varphi_1, 2\pi)$ と $\text{mod}(\varphi_2, 2\pi)$ が $0 \sim 2\pi$ の間で等間隔で分布するように $\varphi_{\max}$ と K を選ぶ必要がある。分布に偏りがあると、形状に変化を与える過程の自由度が制限されるからである。 $\varphi_{\max}$ と K の条件は波長比と材料の屈折率に依存する。

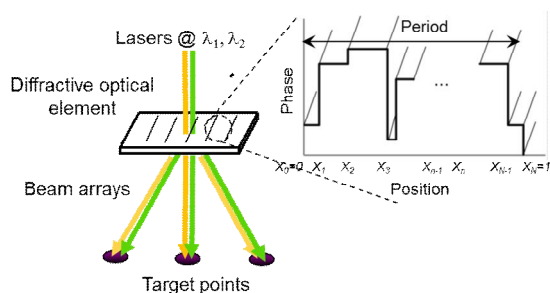


Fig. 1. Diffractive optical element operating efficiently for two wavelengths.

設計結果を Fig.2 に示す。区間数は 28、位相レベル数は 16、 $\omega_1:\omega_2=1.3:0.7$ である。波長 1064nm と 532nm に対する性能の目標値をビーム分岐効率 $>80\%$ 、ビーム分岐均一性 >0.90 とした。Fig.2(a) で、素子材料はレジストである。 $\varphi_{\max}=8\pi$ と選ぶと、 $\text{mod}(\varphi_1, 2\pi)$ と $\text{mod}(\varphi_2, 2\pi)$ は $0 \sim 2\pi$ の間でほぼ均等に分布する。アニーリング温度を下げていくとコスト関数値は小さくなり、目標値を満たす解が求まった。他方、Fig.2(b) は材料が石英ガラスの場合であり、 $\varphi_{\max}=8\pi$ のとき $\text{mod}(\varphi_2, 2\pi)$ は均等に分布しない。コスト関数値は小さくならず解が求まらなかった。しかし、 $\varphi_{\max}=8.3\pi$ とすると $\text{mod}(\varphi_1, 2\pi)$ と $\text{mod}(\varphi_2, 2\pi)$ はどちらもほぼ均等に分布する。コスト関数値は十分小さくなり解が求まった。これらの結果は、提案する設計スキームの有効性を示すものである。

文献

1. S. Noach et al: Appl. Opt. 35, 3635-3639 (1996).
2. 篠崎 他: Optics & Photonics Japan 2015, 29pC1.

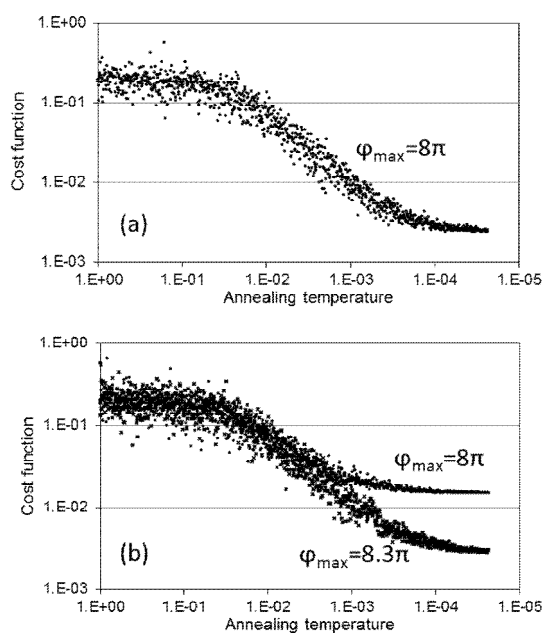


Fig. 2. Example design of a 5-fan-out element: The material is (a) resist and (b) fused silica.