

波長多重位相型計算機ホログラムの設計と特性評価

小倉 裕介・白井 伸弘・谷田 純

波長多重技術は、高速・高機能の情報処理や通信をめざすさまざまなシステムで有効である。また、位相光学素子は光波面制御の自由度が高く、多くの複雑な機能を実現できる。しかし、位相光学素子は波長分散が大きく、設計波長以外ではその機能を十分に発揮できない。したがって、位相光学素子を波長多重システムで効率的に利用するためには、設計段階で波長多重性を考慮する必要がある。その設計手法の確立と基本性能の把握が不可欠である。筆者らは、複数の波長に対して独立なスポットパターンを生成する波長多重位相型計算機ホログラム (wavelength multiplexing diffractive phase element; WMDPE) の設計方法やその特性に関して検討を行った¹⁾。本稿では、設計手法の概要、作製素子の機能検証実験、計算機シミュレーションによる基礎特性の評価結果を紹介する。

WMDPE は、入射する光の波長により異なるスポットパターンを生成する光学素子である (図1)。出力パターンの分離は、入射光が素子を透過することにより受ける位相変調と、素子直後から出力面までの光の伝搬特性の波長依存性の利用により可能となる。これら2つの現象を考慮に入れれば、複数の波長それぞれに対して任意のパターンを出力する WMDPE を設計できる。

筆者らは、Bengtsson による反復設計法^{2,3)} を3波長以上の WMDPE 設計に拡張した。本手法では、評価関数として全設計波長に対して設定したスポットの強度の合計を考え、これが大きくなるように位相変調量を1ピクセルごとに更新し、その反復により最適な位相分布を得る。ここで、ある波長に対するすべてのスポットの強度のばらつきを補正するための重みと、波長間の光量効率を調整するための重みを新しい形式で導入し、それらを反復ごとに得られる途中経過に対応して随時更新した。その結果、スポットパターンの一様性が高く、波長間での性能のばらつきの少ない多波長 WMDPE を設計できる。図2は9波長の

WMDPE の設計結果である。各波長に対して設定した“OSAKAUNIV”のパターンが出力されており、設計手法の正当性が確認できる。

光学特性評価のため、3波長の WMDPE を設計・作製

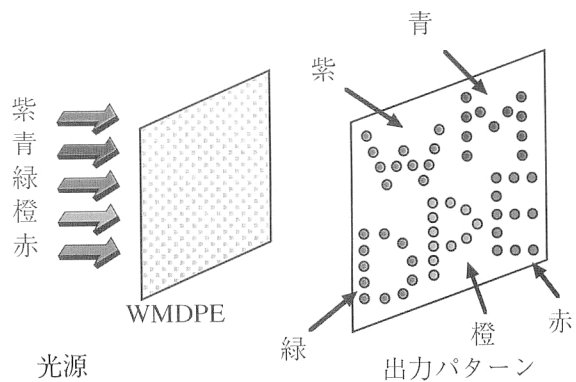


図1 WMDPE によるスポットパターン生成。

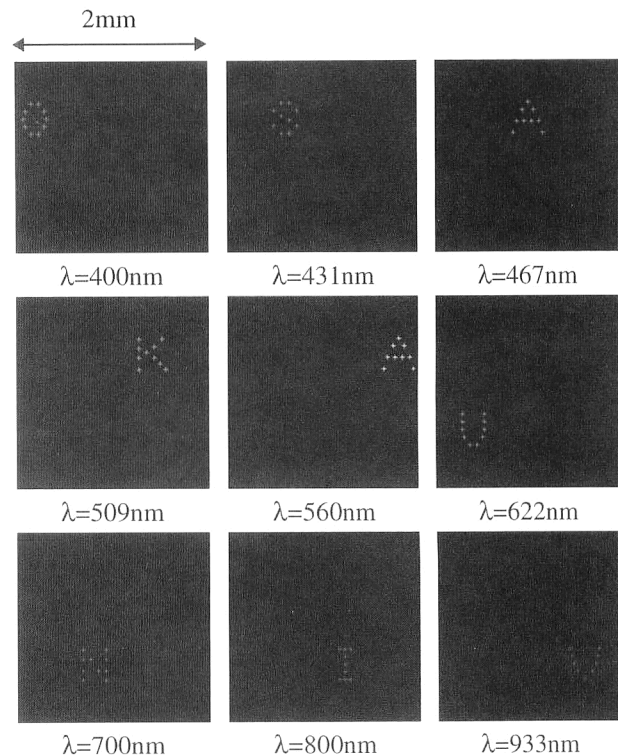


図2 設計した9波長 WMDPE による出力パターンの計算結果。

大阪大学大学院工学研究科物質・生命工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)
E-mail: ogura@mls.eng.osaka-u.ac.jp

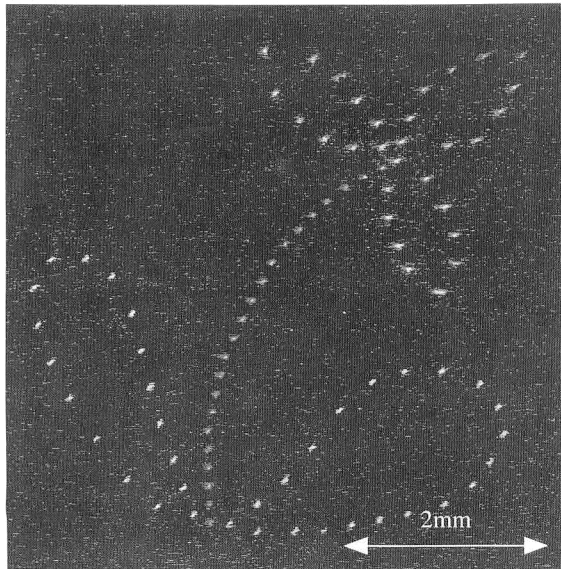


図3 作製 WMDPE の出力パターン。

した。ピクセル数は 512×512 、そのピッチは $10 \mu\text{m}$ である。出力するスポットパターンは花の絵柄とした。作製を容易にするため、設計により得られた連続階調の位相分布を、 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$ の 5 階調に量子化した。WMDPE の作製は電子ビームリソグラフィにより行った。位相変調量分布は、ガラス基板上のレジスト膜厚により制御した。

半導体レーザー (633 nm)、He-Ne レーザー (543.5 nm)、He-Cd レーザー (441.6 nm) を光源とし、これらを同軸の一様な平面波として同時に WMDPE に入射させ、カラー CCD により出力パターンを観察した。得られたパターンを図 3 に示す。各波長の光によりスポットパターンが正しく出力され、全体として花の絵柄を形成していることがわかる。本実験により、5 つの位相レベルで WMDPE の機能を実現できることが示された。

WMDPE の性能は、波長多重数、出力スポット数、最大位相変調量、出力面距離などの条件により異なる。そこで、諸条件に対する WMDPE の性能を計算機シミュレーションにより評価した。性能評価関数として一様性誤差 (省略)、光利用効率、コントラストを用いた。

評価例として、性能評価関数の波長多重数および最大位相変調量依存性を図 4 に示す。各マーカーはそれぞれの波長に対応しており、実線はその平均を表す。図 4 から、光利用効率が波長数の増加に伴い減少していることがわか

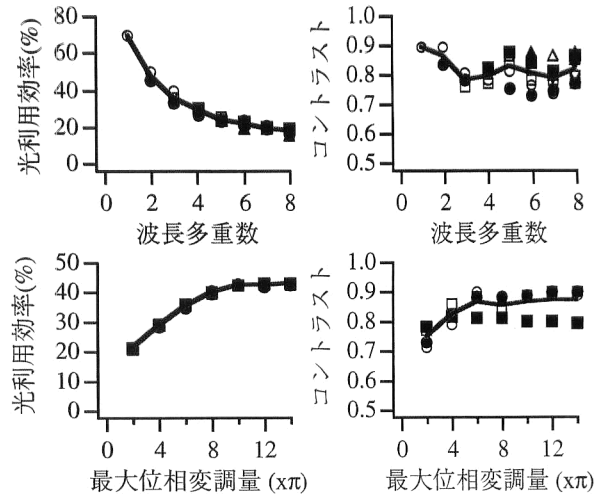


図4 性能評価関数のパラメーター依存性. 上: 波長多重数, 下: 最大位相変調量。

る。WMDPE では、複数の波長に対応する情報が多重化され、単一の 2 次元分布として記録される。ある波長の光の伝搬を考えると、一部はその波長に対応したスポットへ向かうが、それ以外は他の波長に対して設定したスポット付近へ伝搬する。その結果、波長数の増加は光量効率の減少をもたらす。一方、コントラストはほぼ一定の高い値を保っており、少なくとも 10 波長程度で出力パターンが分離可能な WMDPE を設計できる。また、最大位相変調量の増加は性能向上をもたらす。これは、各波長に対する実効的な位相変調量の選択の自由度が増すためである。しかし、最大位相変調量 10π 以上では性能評価関数が停滞しており、この方法による性能向上には限界があることがわかる。

以上の結果は WMDPE の特性の概略を示すものであり、応用展開への指針となることが期待される。

文 献

- 1) 小倉裕介, 白井伸弘, 高原浩滋, 谷田 純, 一岡芳樹: “波長多重位相光学素子の作製と特性評価”, 第 47 回応用物理学関係連合講演会予稿集, No. 3 (2000) p. 995.
- 2) J. Bengtsson: “Kinofoms designed to produce different fan-out patterns for two wavelengths,” *Appl. Opt.*, **37** (1998) 2011-2020.
- 3) J. Bengtsson: “Design of fan-out kinofoms in the entire scalar diffraction regime with an optimal-rotation-angle method,” *Appl. Opt.*, **36** (1997) 8435-8444.

(2000 年 10 月 6 日受理)