

デスクトップ型液晶マトリックス投影露光装置の最適 F ナンバの検討

Optimization of F-Number for Desktop Liquid-Crystal-Display Exposure System

○堀内 敏行、小山宗一郎、小林 宏史 (東京電機大学)

○Toshiyuki Horiuchi, Soichiro Koyama, Hiroshi Kobayashi (Tokyo Denki Univ.)

E-mail: horiuchi@cck.dendai.ac.jp

1. まえがき

流体デバイス、レンズアレイなどの線幅 30～100 μm のパターン形成用に、液晶プロジェクタを用いた安価で簡便なデスクトップ型のマスクレス投影露光装置を開発した¹⁾。液晶やデジタルマイクロミラーを用いて投影露光を行う場合、単純に露光すると、要素パターンの位置と単位線幅が固定されてしまうため、応用対象が限定され、使いにくくなる。しかし、液晶の場合は階調を制御できるため、要素ピクセル 2 個以上の線幅で使用すれば、パターンの中心位置と線幅を変えることができる¹⁾。ここでは、その場合の投影レンズ開口の最適値を検討した。

2. 適切な F ナンバの検討

開発した露光装置は、市販の赤緑青 3 液晶型プロジェクタ(三菱電機、LVP-HC5000)の投影光学系をはずし、代わりにマクロ撮影用カメラレンズ(Sigma, EX DG MACRO)を取り付けて製作した²⁾。液晶のセルサイズは 7.4 μm 角、ブラックマトリックス幅は 1.1 μm なので、ピクセルピッチは 8.5 μm である。投影倍率は 1.65 倍とした。2 ピクセルで 8.5 $\mu\text{m} \times 1.65 \times 2 = 28\mu\text{m}$ となるので、液晶の微細度は応用対象の線幅に対する解像条件を満たしている。一方、投影レンズの開口数を NA とすれば、投影光学系の解像度 R は

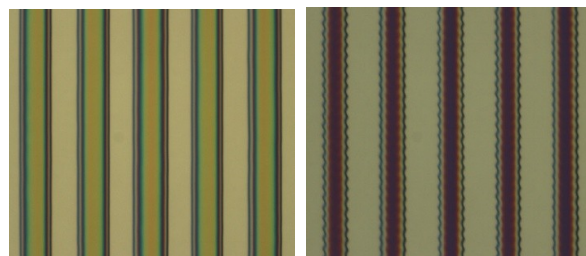
$$R = k_1 \frac{\lambda}{NA} = k_1 \lambda \times 2F_e. \quad (1)$$

より計算できる。ここで、 F_e は実効 F ナンバであり、投影倍率を m とすれば、

$$F_e = (1 + m)F. \quad (2)$$

なので、波長を実測ピークの $\lambda = 436\text{nm}$ 、 $m = 1.65$ 、 $k_1 = 0.7$ とすれば、 $R < 28\mu\text{m}$ にするのに必要な条件は、 $F < 17$ となる。したがって、カメラレンズの F ナンバは 16 以下に設定する必要がある。

一方、ピクセル間にブラックマトリックスがあり、そのピッチが 14 μm なので、F ナンバを小さくし過ぎると、ピクセル間にくびれや小突起が生ずると予想される。図 1 に F ナンバを変えて 2 ピクセルラインアンドスペースパターンを転写した結果を示す。F ナンバ 8 以下ではピクセルピッチのぎざつきが生じた。



(b) $F=16$

(a) $F=8$

図 1 F ナンバによる転写パターンの相違

3. まとめ

液晶マトリックス投影露光の使用条件に適した F ナンバ条件を検討し、大略実験と合致した。

本研究の一部は東京電機大学総合研究所一般研究課題 Q13T-02 として行った。

1) T. Horiuchi, A. Otani: Optical Review 14, pp. 224-230 (2007).

2) T. Horiuchi, S. Koyama, H. Kobayashi: Abstract of Micro and Nano Engineering 2014, p. 298.