15-85-1 液晶アクティブマスクを用いた DNA チップ合成システムの開発

Development of Photolithography System with Liquid Crystal Device as Active Mask for Synthesizing DNA Chips

○柴田隆行, 林 照剛*, 能田高行, 増澤 徹, 牧野英司**

茨城大学 工学部 機械工学科

*茨城大学 工学部 超塑性工学研究センター

**弘前大学 理工学部 知能機械システム工学科

Takayuki SHIBATA, Takayuki NODA, Toru MASUZAWA, Dept. of Mechanical Engineering, Ibaraki University.

Terutake HAYASHI, Research Center for Superplasticity, Ibaraki University.

Eiji MAKINO, Dept. of Intelligent Machines and System Engineering, Hirosaki University.

1. はじめに

個人の DNA 情報をもとに診断, 投薬, 治療を行うテーラーメイド医療を実現するためには, DNA チップが臨床医学, 創薬研究, 医療現場などの広い分野で応用されることが必要不可欠である. そこで, 本研究では, DNA チップの光合成法¹⁾で用いられるフォトマスクのかわりに液晶素子をアクティブマスクとして利用することで, 多種多様の DNA チップを迅速, かつ安価に提供できるシステムの開発を目標としている. 本報では, 提案する液晶アクティブマスクを用いたリソグラフィ装置を試作し, その性能を評価した.

2. 液晶フォトリソグラフィ装置の概略

図1に作製した液晶フォトリソグラフィ装置の概略図を示す. 超高圧水銀ランプ (ウシオ電機 SX-UI 500HQ) から出射した紫外線のうち, 波長カットフィルターによって DNA 合成に必要な 365nm (i 線) の光のみを選別し, 照明光学系 (縮小光学系) を用いて入射光の光強度を増加させ, 液晶素子を照明した. さらに, 2 枚の偏光子を液晶素子が書き換え可能なフォトマスクとして機能するように, 素子の前後に透過光軸が直交するように配置した. 液晶素子に出力されたパターンは, 結像光学系によって露光面上に結像され, 任意のパターンを形成することができる. 液晶素子には, 1 画素の大きさが $18 \times 18 \mu\text{m}^2$ (開口率 54%) の市販のマイクロレンズ付き白黒 TFT 液晶 (エプソン L3P09X-25G01) を使用した. このように, 提案する DNA 合成システムは, パソコン上で作成した任意のパターンを液晶素子に描画することで, フォトマスクを作製することなしに, 多種多様な DNA チップを柔軟, かつ迅速に作製することができる.

Fig.1 Photolithography system with LCD for synthesizing DNA chips

3. 液晶フォトリソグラフィ装置の評価

3.1 光学系の設計

光学系を設計するにあたり, 露光面上で DNA 合成に用いられている光強度 (14.5 mW/cm^2)¹⁾ を得るために, 光学系の各構成素子の光の減衰量を測定した. その結果, 光学系全体での光強度の減衰は 1/136 となることから, 照明光学系を 1/12.5 の縮小光学系とし, 光強度が 156 倍となるように決定した. また, 結像光学系は, 収差を低減し高解像度を実現させるために 2 群 4 枚のレンズを用い, 等倍結像光学系を構築した. 図1の絞り A は液晶面の照射面積を, 絞り B は液晶に入射する光の入射角を, 絞り C は液晶アクティブマスクを透過した光の広がり角を低減し, 露光面の解像度を向上させる役割をもっている.

3.2 液晶アクティブマスクのコントラストの評価

図2は液晶素子 ($2 \times 2 \text{ mm}^2$ の領域) に $90 \times 90 \mu\text{m}^2$ (5×5 画素) のチェック模様を出力し, 露光面に投影させた像を CCD カメラによって観察した結果である. 図中の白線上の輝度プロファイルについてもあわせて示している. 絞り A は (a), (b) ともに $\phi 26 \text{ mm}$ とし, 絞り B はそれぞれ $\phi 14 \text{ mm}$, $\phi 4 \text{ mm}$ とした. 図から, 絞り B の値を小さくすることで, パターンがより明瞭となり, コントラストが向上することが確認できる.

Fig.2 Projected images of pattern displayed on LCD

図3は液晶アクティブマスクのコントラストに及ぼす絞り B および C (絞り A は $\phi 26 \text{ mm}$) の大きさと液晶素子に入射する光強度の影響を調べた結果である. 光強度の調整は ND フィルターによって行った. 図から, 液晶素子のコントラストの改善には, ①液晶に入射する光強度を低減させる, ②絞り

B を小さくすることで液晶への光の入射角度と光強度を同時に低減させる, ③絞り C を小さくすることで液晶を透過した光の広がり角を低減させることが重要であることがわかる。

Fig.3 Contrast of LCD mask

図 1 の光学系を用いて, 最もコントラストが高くなる絞りの条件 (絞り A : $\phi 26\text{mm}$, B : $\phi 6\text{mm}$) で, シリコン基板上に約 $1.5\mu\text{m}$ の厚さに塗布したポジ型フォトレジスト (東京応化 OFPR-800) の露光実験を行った。しかし, チェック模様を出した領域全体が露光され, 描画したパターンの形成を行うことはできなかった。一方, 液晶素子のかわりに市販のフォトマスク (クロムマスク) を使用した場合には, 幅 $14\mu\text{m}$ のレジストパターンの形成が可能であることがわかった。この理由としては, クロムマスクに比べて液晶アクティブマスクのコントラストが低いことが原因ではないかと考えられる。

3.3 液晶アクティブマスクコントラストの改善

前節の結果から, 液晶アクティブマスクのコントラストを改善するためには, ①液晶への光の入射強度と入射角を低減させる, ②液晶アクティブマスクの露光面上での投影像の解像度を向上させる必要がある。そこで, 光学系の設計および調整方法の改善を行った。絞り B の機能と同様の効果を得るために, 図 1 の光学系において, ①レンズ L2 および L3 を取り除くことで液晶に入射する光の入射角を低減し, さらに, ②レンズ L1 の位置を調節し, 照明光学系の縮小倍率を $1/12.5$ から $1/5$ とすることで, 液晶への入射光の光強度を低減させた。この際, フォトレジストの露光に必要な光強度を確保するために, 絞り A および B の大きさをそれぞれ $\phi 40\text{mm}$, $\phi 10\text{mm}$ とした。さらに, 露光面上でのパターン像の解像度を向上させるために, 絞り C ($\phi 15\text{mm}$) の大きさを検討し, 露光面の位置合わせを $150\mu\text{m}$ 単位で高精度に行った。その結果, 図 1 の光学系の構成で最も高いコントラスト 163 を超える 210 以上の値が得られた。

4. パターン露光実験

前述のように変更した光学系を用いてパターンの露光実験を行った。図 4 に液晶に描画したパターンを示す。(a), (b) はそれぞれ $54 \times 54\mu\text{m}^2$ (3×3 画素), $90 \times 90\mu\text{m}^2$ (5×5 画素) のチェック模様, (c), (d) はそれぞれ幅 $18\mu\text{m}$ (1 画素), $36\mu\text{m}$ (2 画素) のライン状のパターンである。各ラインの間隔は写真の左から $18\mu\text{m}$ (1 画素) ずつ広げて並べている。

Fig.4 LCD Mask patterns displayed on LCD

Fig.5 Photoresist patterns formed by using LCD mask

図 5 にフォトレジストの露光結果を示す。露光時間は, それぞれ 50s, 60s, 90s, 80s とした (液晶素子に白を表示したときの露光面での光強度: $0.21\text{mW}/\text{cm}^2$)。 (a) の露光結果から, チェック模様では $54\mu\text{m}$ の横分解能が得られていることがわかる。一方, ラインパターンでは, (c) からわかるように, ラインの間隔が $18\mu\text{m}$ の場合を除き, $36\mu\text{m}$ 以上の間隔で明瞭なパターンが認められ, $18\mu\text{m}$ の横分解能が実現されている。

このように, チェック模様を露光したときの横分解能はラインパターンに比べて悪くなることがわかった。これは, 液晶素子による回折光の影響が原因と考えられる。また, 図 5 の (a) および (c) で顕著に見られるパターン輪郭の波模様は, 液晶アクティブマスクの 1 画素の形状およびマイクロレンズによる集光スポットの影響と考えられる。パターン輪郭の乱れと横分解能については, 液晶素子の画像を縮小投影縮することによって改善を行うことができると考えている。

5. まとめ

液晶アクティブマスクを用いたリソグラフィ装置を開発した。フォトレジストの露光実験を行い, 従来のフォトマスクを使用することなしに, 液晶素子に描画した任意のパターンを分解能 $18\mu\text{m}$ で形成できることを確認した。今後は, 露光面での光強度の向上ならびに分解能 $10\mu\text{m}$ 程度のパターン形成の実現に向け, 縮小投影露光光学系を設計し, DNA チップ作製における本システムの有効性を実証する。

本研究をおこなうにあたり, 光学系の設計でご協力いただいたシグマ光機 (株) の関係各位に深く謝意を表する。

参考文献

- 1) A.C. Pease *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 91 (1994) 5022-5026.