

## 論 文

## DMDを用いた紫外線露光機

高橋 幸郎<sup>†</sup>瀬戸山淳一<sup>†</sup>

## An UV-Exposure System Using DMD

Kohrou TAKAHASHI<sup>†</sup> and Junichi SETOYAMA<sup>†</sup>

あらまし Digital Micro-mirror Device (DMD) はマイクロマシニング技術を用いて製作された新しいディスプレイ素子であり、プロジェクタに応用され、実用化されている。ここでは、DMD を紫外線露光機として用いることにより、投影露光機及び光造形への適用を試みた。

キーワード DMD, 投影露光機, 光造形

## 1. ま え が き

デジタルマイクロミラーデバイス (Digital Micro-mirror Device: DMD)[1] はマイクロマシニング技術により製作された数十万個の  $17\mu\text{m}$  角程度の微小な 2 次元アレー状のミラーを 1 画素ごとに静電気により傾斜させ、入射した光線の光路を変えることにより、画像投影用光シャッタとしての動作が可能な素子である。本論文ではこの DMD を紫外線露光機として用い、ホトレジストの投影露光及び光造形に応用し、転写精度及び造形特性を検討した。

前者に関しては、設計の終了したコンピュータディスプレイ上のパターンを DMD にそのまま投写できるため、マスク製作が不要となり、簡便な投影露光機が実現できる。

後者の光造形では、一般的に紫外レーザー光の走査法が用いられているため、装置コストやランニングコストが非常に高いが、DMD を用いた非走査形では光源に水銀ランプを用いることができるため、低コストの光造形システムが実現できる。

## 2. システム構成

システムは図 1 に示すように、光学系 (UV source / DMD / lens) と機械系 (xy $\theta$ -stage / z-stage / tank) 及び制御系 (computer / DMD controller /

pulse-stage controller) により構成される。UV 光源からの光線はレンズ系により DMD に照射される。この光線の反射光路を DMD の 1 画素ごとのミラーにより変えることで、Z ステージ上に任意のパターンが投影される。本システムでは UV 光源に超高压水銀ランプ、DMD 及び Z ステージの制御にコンピュータを用いている。また、光造形には液槽を使用する。

表 1 に使用した DMD の仕様を示す。これより液晶パネル方式 [2] と比較し、コントラストや反射領域が大きく、また  $400\text{nm}$  以下の UV 光を使用できるため、投影露光や光造形には DMD がより適していることがわかる。投射されるパターンの画素数は、DMD の全画素数により制限されるが、原図を分割投影し、XY ステージ上で投影画像を再合成することで、画素数を

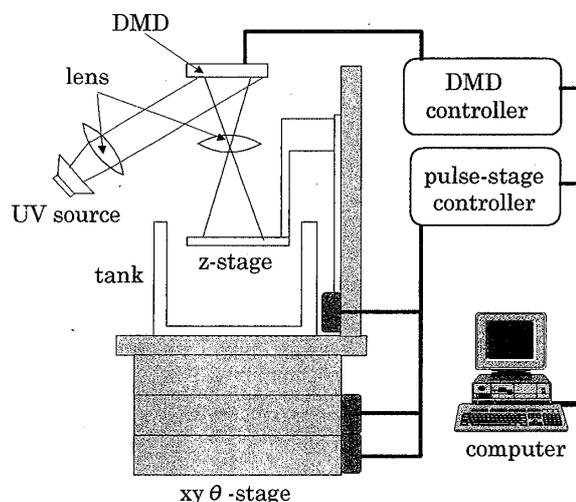


図 1 システム構成

Fig. 1 System construction.

<sup>†</sup> 埼玉大学工学部電気電子システム工学科, 浦和市  
Department of Electrical and Electronic Systems, Faculty  
of Engineering, Saitama University, Urawa-shi, 338-8570  
Japan

表 1 DMD の仕様  
Table 1 Specification of DMD.

number of pixels	600×800
contrast	≥200:1
pixel size	17 μm×17 μm
reflection area	90%
pixel gap	5%

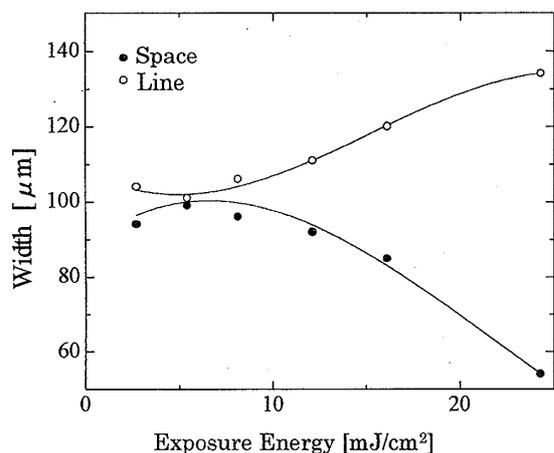


図 2 露光エネルギーとパターン寸法の関係  
Fig. 2 Pattern dimension vs. exposure energy.

増加させることができる。

### 3. 投影露光機

図 2 に 1 画素を 50 μm 四方に拡大投影し 100 μm のライン/スペースを露光したときの、365nm での露光エネルギーに対する変化を示す (レジスト: OMR85 (東京応化)/膜厚 1.2 μm, 投影レンズ: EL ニッコール (ニコン) /f=63)。レンズ解像力の制限から露光量の増加に伴い、パターンの外まで露光領域が広がり、転写精度の悪化が見られるが、露光エネルギー約 5 mJ/cm<sup>2</sup> で最適値が得られている。また、図 3 に露光エネルギー 5.4 mJ/cm<sup>2</sup> での 50 μm のライン及び 100 μm のライン/スペースの露光例を示す。この図において、露光領域にミラーのギャップ部の露光不足による格子状のレジスト膜厚の減少領域が見られるが、これはその後のエッチングの工程に影響を及ぼすほどではない。一方、開口部周辺には、同図 (b) に示すようにミラー間ギャップにより 1 画素寸法の約 6% 程度のエッジの不均一性が生じる。しかしこれは、投影倍率により 1 画素の寸法を変更することで、要求するエッジ部の精度内に収めることができる。

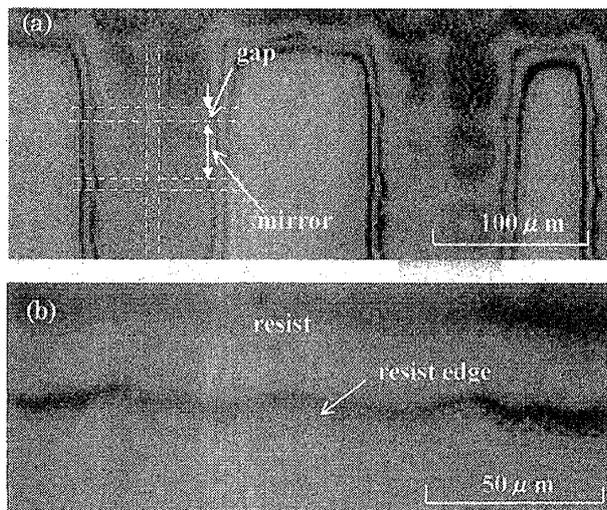


図 3 ネガレジストの現像パターン (a) ラインとスペースのパターン (b) パターンエッジの詳細  
Fig. 3 Developed pattern of negative resist. (a) Line and space pattern. (b) Detail of pattern edge.

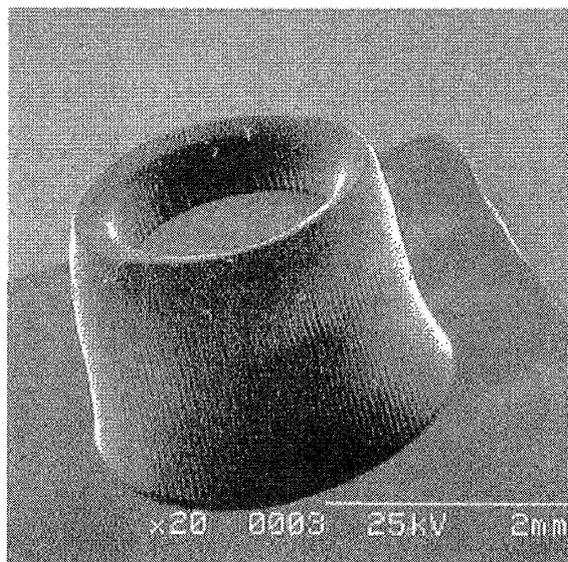


図 4 光造形法による造形例  
Fig. 4 Sample model by rapid prototyping.

### 4. 光造形装置

本システムにおける光造形は自由液面法 [3] であり、液面の調整にはスキジ機構を採用した。図 4 に UV レジンに SCR-400 (JCR) を使い、1 画素 50 μm×50 μm、1 層の厚さ 200 μm で 7 層積層した造形例を示す。モデル側面に前述のミラーのギャップによる縦方向の溝が見られるが、積層面ではギャップ部での樹脂の硬化は生じており問題とはならないことがわかった。

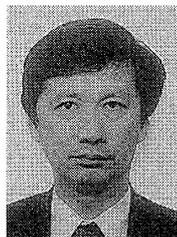
## 5. む す び

使用した投影レンズが、可視光を対象とした写真製版用のものを流用したため、解像力は $5\mu\text{m}$ 程度に制限されているが、UV光用高解像度のレンズを使用することで、更に高解像力を期待できる。DMDはその高いコントラストや広い反射領域を有し、かつ安価な水銀灯による紫外光を利用できることから、簡便な投影露光機や医療画像情報3次元モデル形成のための低コストの光造形システムなどへの応用に好適といえる。

## 文 献

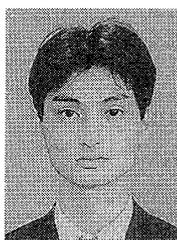
- [1] L.J. Hornbeck, "Digital light processing: A new MEMS-based display," 4th Sensor Symp, pp.297-304, 1996.
- [2] 木村雅之, 久保田悦雄, 別所信夫, 福田一郎, "液晶式光造形システムの開発," 信学論, vol.J79-C-II, no.3, pp.118-126, March 1996.
- [3] 丸山洋二, "光造形システムの基礎・現状・問題点," 型技術, vol.7, pp.18-23, Sept. 1992.

(平成10年8月12日受付, 12月25日再受付)



高橋 幸郎 (正員)

1977 東北大学大学院博士・電子工学専攻了。同年東北大・工・助手。1988年10月埼玉大・工・電子工・助教授。1996年10月同教授。この間主として医用電子回路, 電子デバイスの研究に従事。工博。



瀬戸山 淳一

1997 埼玉大・工・電気電子卒。現在, 同大大学院・理工学研究科・修士課程2年次在学中。光造形法に関する研究に従事。