

## 투과형 LCD 패널을 이용한 실시간 포토리소그래피

피성훈, 박병호, 장유진, 김강현, 안승언, 강병현, 염민수, 성만영, 김규태  
고려대학교 대학원 전기공학과

### Real-time photolithography employing a transparent LCD panel as a configurable mask

Sung-Hoon Pieh, Byoung-Ho Park, Yu-Jin Jang, Kang-Hyun Kim, Seung-Eon Ahn, Byung-Hyun Kang,  
Min-Soo Youm, Man-Young Sung, Gyu-Tae Kim  
Department Of Electrical Engineering, Korea University

#### Abstract

핸드폰에 장착된 반투과형 LCD (Liquid Crystal Display) 패널에서 반사판을 제거하면 투과형 LCD 마스크로 이용할 수 있다. LCD 패널의 광 흡수 실험에서 얻은 스펙트럼을 참고하여 다양한 파장대의 광원으로 리소그래피 하였다. 컴퓨터 이미지 프로그램으로 편집한 그림을 핸드폰 전용 통신 케이블을 통하여 LCD 패널로 전송하여, 다양한 모양의 패턴을 기관위에 전사하는데 성공하였다. 픽셀간의 경계가 현상되어 끊어지는 패턴이 형성되는 LCD 마스크의 단점을 극복하여 연속적인 패턴결과를 얻는데도 성공하였다. 이로부터 프로젝션 리소그래피의 응용에 쉽게 접근할 수 있는 발판이 마련된 것으로 생각된다.

**Key Words** : 실시간 리소그래피, LCD (Liquid Crystal Display) 패널, 투과형 LCD, 프로젝션 리소그래피

#### 1. 서론

공정에서 소자의 크기에 따라 다양한 종류의 리소그래피 기술이 이용되어지고 있다. 패턴의 선폭이 미세화 될 수록 고속 동작 및 저 전력 구동이 가능해짐으로서 반도체 공정은 더욱더 미세선폭을 구현하는 방향으로 나아가고 있다. 패턴의 크기가 작아질수록 이에 사용되는 광원의 파장도 짧아져야 하며 마스크의 재질도 달라져야 한다. 현재 널리 사용되는 리소그래피 기술로는 광원의 종류에 따라 E-beam, X-ray, Ion-beam, Optical 리소그래피 등으로 나눌 수 있다[1]. 이러한 기술들은 장비가 복잡하고, 공정시간이 많이 소요되며 장치비가 비싸다는 단점이 있다. 또한 공정 중에 사용되는 마스크의 제조공정과 재료의 선택이 어려우며 가격이 비싸다. 이미 만들어진 마스크는 고정적이기 때문에 각 공정마다 모양이 다른 마스크가 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로, 프로그램을 통해 실시간으로 이미지를 변환할 수 있는 LCD 시스템과 프로젝션 리소그래피 기술을 조합한 새로운 포토리소그래피 기술이 제안되었다[2, 3]. 실시

간으로 컴퓨터 프로그램을 통한 이미지 제어가 가능한 LCD 패널의 마스크로의 사용은, 기존의 고정적인 패턴의 마스크를 사용한 기술에서의 정렬(alignment) 단계가 더 이상 필요 없게 만들어 주어 공정 시간과 마스크 비용의 절감 효과를 얻을 수 있다. 그러나 지금까지 LCD 패널이 가시광선 영역에서의 실험이 이루어졌다는 보고가 있을 뿐 어느 파장대의 광원에서 마스크로 사용되어 질 수 있는지에 대한 정확한 연구가 이루어지지 않아 응용에 어려움이 있었다. 이에 본 논문에서는 반사판을 제거한 상태의 핸드폰 LCD 패널의 광 흡수실험을 통하여 사용가능한 파장대의 광원을 확인하였으며, 이를 마스크로 사용하여 각각의 광원에서 접촉식 노광(contact lithography)시스템을 통하여 1:1 패턴을 얻는데 성공하였다. 또한 이전 보고에서 LCD 패널의 마스크로서의 사용에 문제가 되었던 픽셀단위로 끊겨서 현상되는 문제점을 해결함으로써 프로젝션 리소그래피 기술에 응용 가능성을 보여주었다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

모델명이 SAMSUNG SPH-X1200인 핸드폰과 통신 케이블을 준비하였다. (그림 1.(a)) 4가지톤의 음영을 표현할 수 있는 8라인, 4 gray LCD (128×128 dot)가 사용된다. 준비된 핸드폰의 화면부 케이스를 내부 회로 손상에 주의하며 제거하여 LCD 패널을 드러낸다. (그림 (b)) LCD는 수광 소자로서 광원의 통과 여부에 따라 이미지를 나타내며, 핸드폰에는 백라이트 (Backlight)와 자연광 (natural light)을 모두 이용하는 반투과형 모드가 사용된다. 자연광을 흡수하기 위한 반사판이 LCD 패널과 백라이트 사이에 위치한다. LCD를 마스크로 사용하기 위해서는 빛을 투과할 수 있는 상태로 만들어주어야 하기 때문에 반사판을 제거하여, 그 표면을 깨끗이 세척한 후 마스크의 준비를 마친다. (그림 (c)) 사용자가 원하는 그림이나 문자의 패턴은 컴퓨터 이미지 프로그램을 통하여 그림 파일로 완성한 후에 핸드폰과 컴퓨터간의 전용 통신케이블 (USB 포트)을 통하여 LCD 패널에 전송하여 저장시킨다. 준비된 LCD 마스크를 이용하여 두 가지 상태에서 광 흡수 특성 실험을 하였다. 전원을 끈 투명한 픽셀인 경우와 전원을 켜서 검정색 픽셀인 경우를 준비하여 광흡수 장비(spectrophotometer)를 이용하여 실험하였다. 투과형 LCD 마스크를 이용한 포토리소그래피 실험을 확인하기 위해 365 nm, 405 nm, 436 nm에서 반응하는 positive AZ1512 감광막을 준비하였으며, 광 흡수 특성 결과를 확인하기 위하여 여러 파장대의 광원을 이용하여 실험하였다. 256 nm, 365 nm, 405 nm의 필터링 된 광원과 수은등을 준비한다. 실험 과정은 다음과 같다.

1. 실리콘 웨이퍼(100)를 LCD 패널 크기에 맞게 자른 후 아세톤과 알코올(IPA)을 이용하여 세척한다.
2. 웨이퍼와 감광막 사이의 접착력을 높이기 위해 HMDS 용액으로 표면을 코팅한다.
3. AZ1512 감광막을 500 rpm (5초), 4000 rpm (35초)로 코팅하여 1.4  $\mu\text{m}$ 의 두께로 코팅한다.
4. Hot plate에 90초간 soft baking을 한다.
5. 준비된 웨이퍼를 LCD 패널과 회로기판 사이에 위치시킨 후 준비된 광원으로 노출 에너지를 달리하며 노광한다. (그림2)
6. AZ300 MIF developer로 현상하여 흐르는 DI water에 깨끗이 세척하여, 이미지의 결과를 확인한 후 5번 과정의 조건을 달리하며 실험한다. (그림(d))

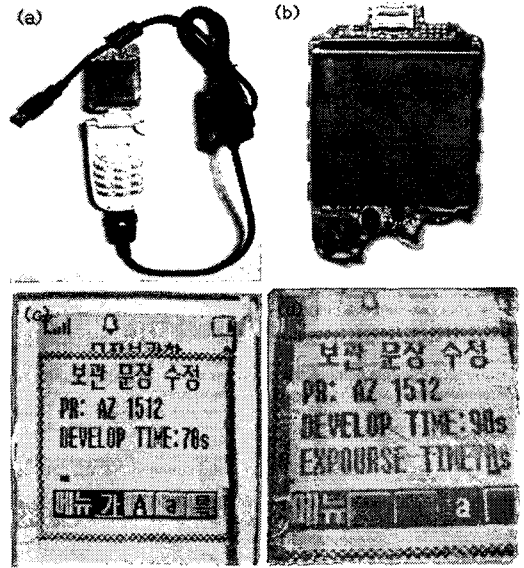


그림 1. (a) 핸드폰과 통신 케이블 (b) LCD 패널  
(c) 반사판을 제거한 LCD 패널  
(d) 실리콘 기판 위에 전사된 감광막 패턴

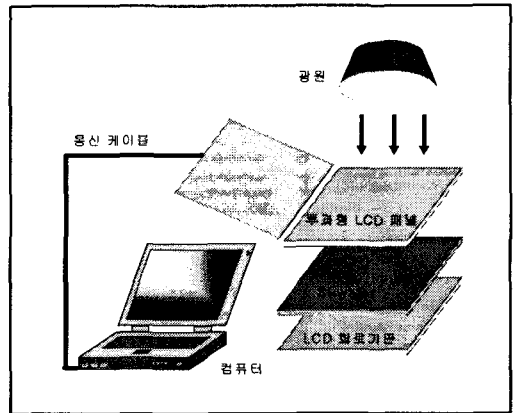


그림 2. LCD 마스크를 이용한 리소그래피 실험도

7. 현상된 패턴을 ALPHA-STEP 500 SURFACE PROFILER 장비를 이용하여 두께 측정을 한다.

### 3. 결과 및 고찰

LCD 패널의 검정색 픽셀과 투명한 픽셀 사이의 광 흡수 실험을 한 결과 그림 3과 같은 스펙트럼을 얻었다. 그림 (a)에서 투명한 픽셀 (off state)의 경우에 모든 빛이 투과되어야 한다는 예상과는 달리 400 nm 이하의 파장이 모두 흡수되었고, 600~800

nm에서 약간의 흡수가 있었다. 검정색 픽셀 (on state)의 경우는 400 nm 이하에서는 모두 흡수되었으며, 400~800 nm 사이의 파장에서 부분적인 흡수가 있음을 확인하였다. 실험 결과로부터 다음과 같은 사실을 알 수 있었다. 빛이 통과해야 하는 투명한 픽셀에서의 광 흡수 결과는 400 nm이하 파장대의 UV 광원에서 LCD 마스크를 사용할 수 없다는 것을 실험적으로 확인할 수 있었다. 검정색 픽셀에서의 부분적인 빛의 통과는 마스크로서 완벽한 차단 역할을 하지 못하므로 기존의 마스크와 비교할 때 노광 에너지의 조건이 달라짐을 예측하였다. 이것을 패턴 결과로 확인해보기 위해 256 nm, 365 nm으로 필터링 된 광원에 LCD 마스크와 일반 마스크 (금속)를 각각 이용하여 노광을 실시하였다. 그 결과 LCD 마스크를 이용한 경우엔 감광막의 변화가 없었고, 일반 마스크의 감광막엔 반응을 보여 주어 광 흡수 실험의 예측과 동일함을 확인하였다.

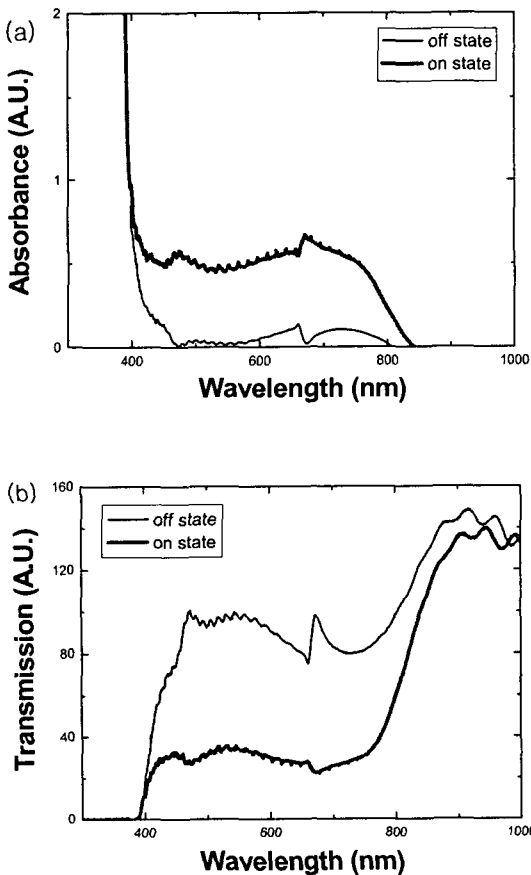


그림 3. LCD 패널에서의 (a) 광 흡수 스펙트럼  
(b) 광 투과 스펙트럼

405 nm의 파장에 광도 20 mW/cm<sup>2</sup>인 필터링된 광원과 3 mW/cm<sup>2</sup>의 수은등을 이용하여 리소그래피한 결과와 실험 조건을 그림 4와 표 1을 통해 정리하였다. 표 1에서 가장 두드러진 결과는 패턴의 감광막 두께가 (e)의 경우를 제외하고는 처음 두께 (1.4μm)의 절반 이하로 얇아진 것이다. 또한 노광 에너지 증가에 따라 현상시간이 감소한 점도 관찰할 수 있다.

그림	광원	노광에너지 (mJ/cm <sup>2</sup> )	현상시간 (초)	감광막 두께(μm)
(a)	405 nm	200	100	0.59
(b)	405 nm	300	85	0.55
(c)	405 nm	400	70	0.43
(d)	405 nm	500	60	0.32
(e)	수은등	210	70	0.89

표 1. 실험 조건 및 결과

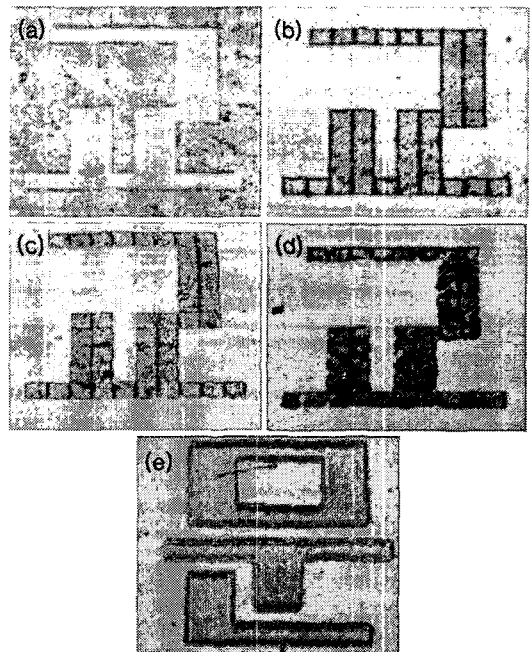


그림 4. (a)~(d) 405 nm 광원의 증가에 따른 패턴 변화 (e) 픽셀이 연속적으로 현상된 패턴(수은등)

그림을 통해 분석해보면 그림(a)의 경우엔 노광 에너지가 부족하여 투명한 부분의 현상이 덜 되어 감광막이 남아있는 상태이다. (b)는 노광에너지가 적당하여 '교'자의 패턴이 정확히 픽셀단위로 끊겨져

얻어졌다. 하지만 우리의 최종목표는 픽셀단위가 연속적으로 연결된 ‘교’자의 패턴을 얻는 것이다. (c)와 (d)의 상태는 패턴의 감광막이 현상되기 시작하는 모습이며 이 보다 더 큰 노광에너지에서는 모든 패턴이 사라짐을 확인하였다. 이런 결과의 원인은 그림 3(b)의 스펙트럼을 확인하여 해석할 수 있다. LCD가 검정색 픽셀인 부분이 ‘교’자이며 빛을 받지 않아 감광막이 남아있어야 하는 부분이다. 하지만 스펙트럼에서 405 nm 이상의 파장에서 어느 정도의 빛이 통과됨을 확인 할 수 있으며, 이는 405 nm에서 반응하는 AZ1512 감광막에 임계 값 이상의 노광에너지로 충분히 영향을 미칠 수 있는 요인이 된다. 본 논문에서 가장 쟁점이 되는 LCD 마스크로서의 이상적인 패턴의 이미지는 (e)의 그림이다. ‘문’자의 패턴이 픽셀단위로 끊기지 않고 연속적인 모양으로 현상되었다. 이 결과는 노광에너지가 픽셀과 픽셀의 경계 부분이 현상되기 전이면서 동시에 투명한 부분이 모두 현상되어지는 조건에서 얻을 수 있는 결과이다. 이 조건을 잘 활용한다면 이 전의 미국 특허에서 픽셀 경계의 결함을 보상해주기 위한 공정 단계로 발전될 수 있을 것으로 예상된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 LCD 패널의 마스크로서의 기능을 광 흡수 실험을 통하여 확인하였으며, 실시간 이미지 전송을 통한 리소그래피 실험을 통하여 다양한 모양의 패턴을 얻는데 성공하였고, 픽셀간의 경계가 현상되는 결함을 제거하는 조건을 발견하여 프로젝션 리소그래피의 가능성을 확인하였다. 따라서 반도체 공정간에 발견되는 소자의 결함을 실시간으로 보상해주어 공정 효율을 높이는 데 기여할 수 있는 기술로의 응용이 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프린티어연구개발사업단의 나노메카트로닉스 기술개발사업(M102KN010001-03K1401-00413)과 나노핵심기반기술(M10214000273-02B1500-04010)의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] W. Scot Ruska, *Microelectronic Processing*, (McGraw-Hill Book, New York, 1998)
- [2] *United states patent*, Patent No. **6,097,361**, 1 August 2000, Rohner, 345/87
- [3] Peng QJ, Liu SJ, Guo YK, Chen B, Du JL, Zeng YS, Zhou CX, Cui Z, "Real-time photolithographic technique for fabrication of arbitrarily shaped microstructures", *Optical Engineering*, Vol. **42**, 477, 2003