

# PCB 노광을 위한 DMD를 이용한 마스크리스 리소그래피 기술

이 글에서는 앞으로 PCB 노광에 있어 마스크 노광 기술을 대체할 마스크리스 노광 기술에 대해 소개하고 LDI(Laser Direct Imaging) 기술의 일종인 DMD 마스크리스 리소그래피 시스템의 제작을 수행하여 PCB 노광 실험을 수행하였다.

조명우 인하대학교 기계공학과, 교수  
 김동우 Univ. of Waterloo, Department of Mechanical Engineering, Post Doc

e-mail : chomwnet@inha.ac.kr  
 e-mail : kdw525@gmail.com

인쇄회로기판(PCB) 시장은 크게 빌드업 기판, 다층 프린트 기판, 다층 플렉시블 기판, 임베디드 기판 시장으로 구분되며 지속적으로 연간 높은 성장률을 나타내고 있다.

이와 같은 다양한 분야에 사용되는 PCB를 생산하기 위해서는 여러 제작 과정을 거치게 되는데 특히 노광장치라는 공정을 통하여 PCB 기판의 회로패턴을 형성하게 되며 이는 PCB 제조 공정에 있어 중요한 핵심 공정이라 할 수 있다.

하지만 다양한 분야에 사용되어 왔던 PCB는 기능성에 있어서 많은 장점이 있지만 최근에 들어 수요자

의 요구와 시장의 흐름에 따른 정보의 고속화와 대용량화를 요구함으로써 기존에 사용해왔던 PCB의 일반기능만으로는 사용의 한계점에 직면하게 되었다.

전자기기 및 모바일 기기에 핵심역할을 해왔던 PCB는 기존의 요구 수준에 비해 보다 복잡한 기능과 소형화를 계기로 하여 점차 빌드업 PCB 시장의 구조는

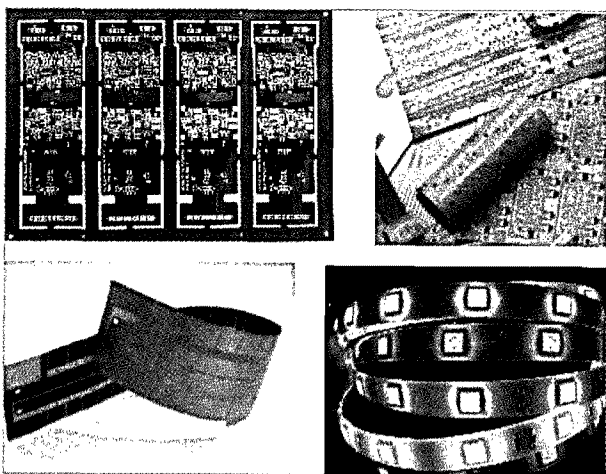


그림 1 다양한 PCB 기판

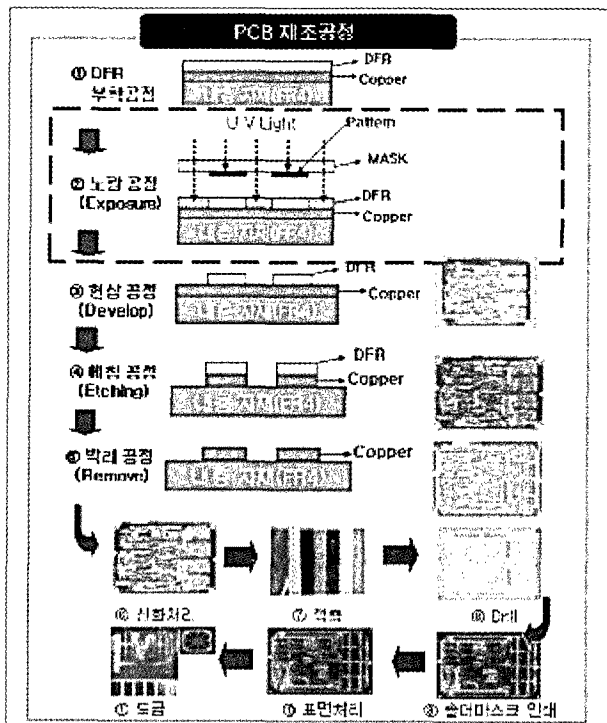


그림 2 PCB 제조 공정

Multi-Layer의 초박형 구조로 변화되고 있는 상태이다. 따라서 현재 PCB 제조업들은 소비자의 요구에 맞추기 위한 보다 정밀하며 미세공정에 적용 가능 기술을 찾게 되었고 노광기술 또한 L/S:20/20 이하의 미세회로패턴 기술을 필요로 하고 있다.

따라서 이렇게 높은 기술적 난이도의 요구 상황에 적극적으로 대응하기 위해서는 PCB상에 초미세 회로 선폭을 구현해 주기 위한 새로운 방식의 노광장치가 대두되었다.

노광장치의 저 분해능에서 고 분해능으로의 이행에 따른 기술의 혁신은 물론이고 다품종 소량생산 및 대량생산 체제에도 유연하게 대응할 뿐만 아니라 노광공정의 비약적 단축과 생산성(Productivity) 향상을 요구하는 신기술 적용의 필연성을 유발시켰다. 따라서 이에 맞는 새로운 노광방법들이 개발되었는데 LDI(Laser Direct Imaging)를 이용한 Maskless 방식의 직접 묘

화 노광법이 그 중의 하나다. 특히 가장 최신 기술이라 할 수 있는 LDI 방식의 노광장치는 국산화율이 전무하여 거의 전량 수입에 의존하고 있는 상태이다.

PCB 시장의 선두 주자인 일본은 LDI 기술을 바탕으로 한 회로 선폭 30 $\mu$ m 이하의 미세회로패턴 형성 기술력을 보유하고 있으며 우수한 공정 기술력을 바탕으로 많은 부분이 자동화되어 있을 뿐만 아니라 불량률은 5% 정도로 낮을 뿐만 아니라 소형, 경량화 및 다기능화 추세에 적합한 4층 MLB는 이미 보편화되어 있는 상태로 Mektron 등 선두 업체를 중심으로 6층 이상의 MLB 개발이 완료된 상태이다.

국내 PCB 산업의 경우 현재 수량 기준으로 국내 연성 PCB 제품의 주종은 단면(Single-Side)이지만 점차 양면(Double-Side) 및 MLB 제품으로 이동할 것으로 예상되며 향후에는 회로 선폭 30 $\mu$ m 이하의 미세회로패턴을 요구하는 경성/연성 PCB 관련 고부가가치 제품 위주로

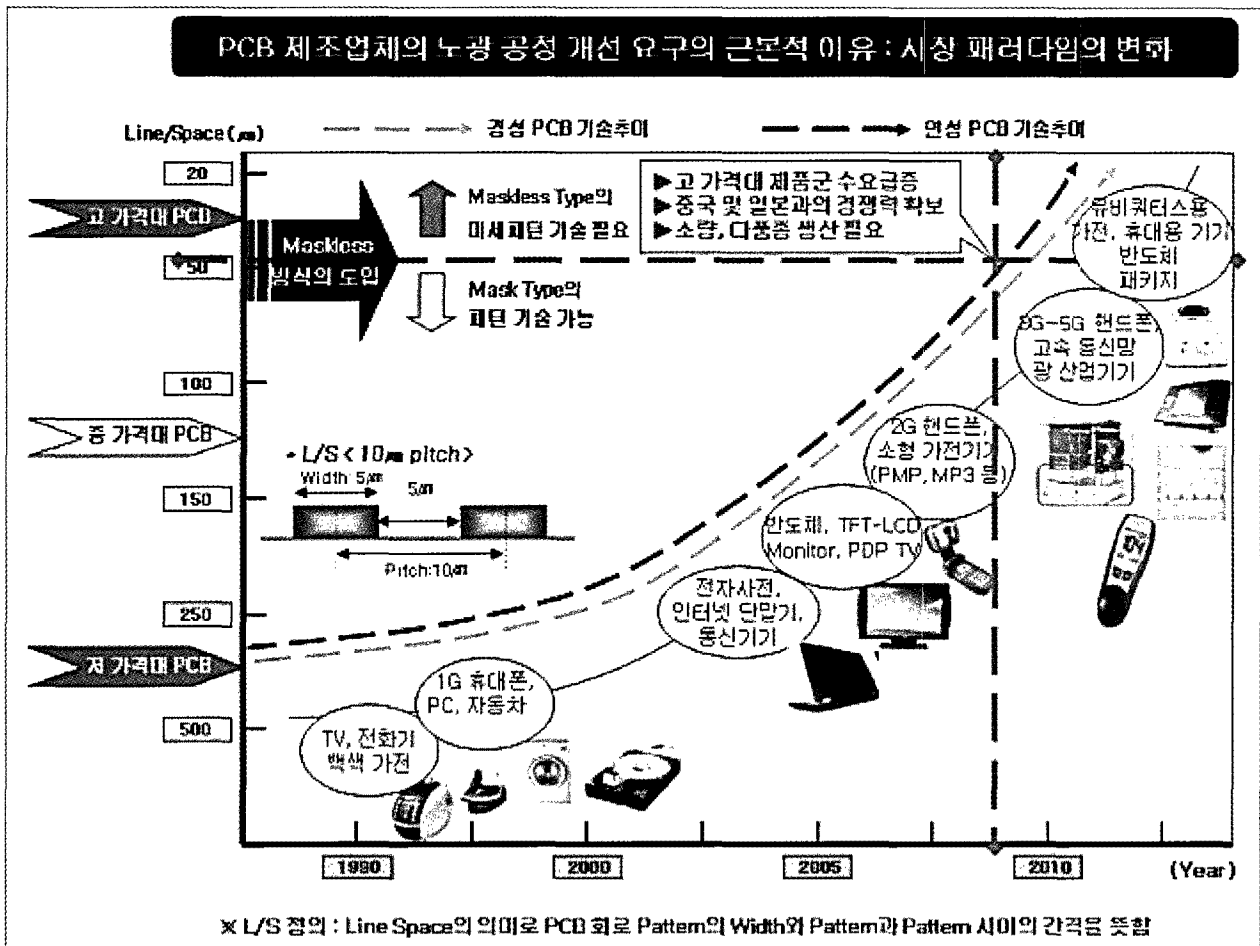


그림 3 노광 공정 트렌드 변화

상당부분 대체할 것으로 예상된다. 따라서 국내에서 이런 시장현상 및 추이를 극복하기 위해선 미세회로 선풍 노광을 할 수 있는 핵심요소 기술과 더불어 마스크 방식의 한계점을 극복하기 위한 Maskless 방식의 노광 방법론 개발이 절실히 요구되고 있는 것이 현재의 실상이다.

### 마스크리스 노광 기술

가장 대표적인 마스크리스 노광 기술 중의 하나인 DMD를 이용한 Maskless lithography 기술은 최적의 노광 라인 에지 거칠기(Line Edge Roughness) 구현 및 생산성 향상을 위한 레이저 에너지 조건, 광학적 특성, 노광 알고리즘, 마스크 이미지 생성 조건 등 많은 부분의 최적화가 진행 중이며 최근까지 많은 기업체 및 연구소에 의해 다양하면서도 심도 깊은 연구가 계속적으로 진행되어 왔다. 이에 필자는 최근의 주목받고 있는 DMD를 이용한 마스크리스 노광 시스템에 대해 자세히 설명을 하고 개발된 장비를 통해 노광 실험 사례에 대하여 설명하고자 한다.

그림 4는 본 연구에서 PCB의 패터닝 노광을 위

해 제작된 DMD를 이용한 마스크리스 노광 장비의 전체적인 구성도를 보여주고 있다. UV레이저 빔 전달 경로는 ① UV 광원의 공급(레이저 광원) → ② 광원의 분할(2 또는 4 빔 분할기) → ③ 광원 에너지 밀도 평탄화(광 조사 광학계) → ④ 노광 이미지 생성(DMD 컨트롤러) → ⑤ 직진광 생성(광 프로젝션 광학계)의 순서이며, 이때 최종 이미지 패턴 생성 빔이 노광 면에 전달되는 형태로 구성된다. 개발된 시스템은 크게 다섯 부분으로 구분되며 각 파트에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

#### 가. 입력된 빔을 2개의 동일한 세기의 빔으로 분리 가능한 모듈(Integrated Optics)

하나의 레이저 소스를 이용하여 2개의 DMD 노광 엔진을 사용하기 위한 것으로 일반적인 빔 분할기는 가시광선 영역 대에서의 빔 분할만을 지원하며 UV 파장에서는 6:4의 비율로 빔을 분할하는 구조로 되어 있어, 마스크리스 광 모듈에 요구하는 사양을 만족시킬 수 없다. 그 해결 방안으로 50:50의 빔 분할이 가능한 특수 코팅 처리한 빔 분할기를 개발하였으며 요소 기술은 UV 파장 전용 제품군으로도 사용이 가능하다.

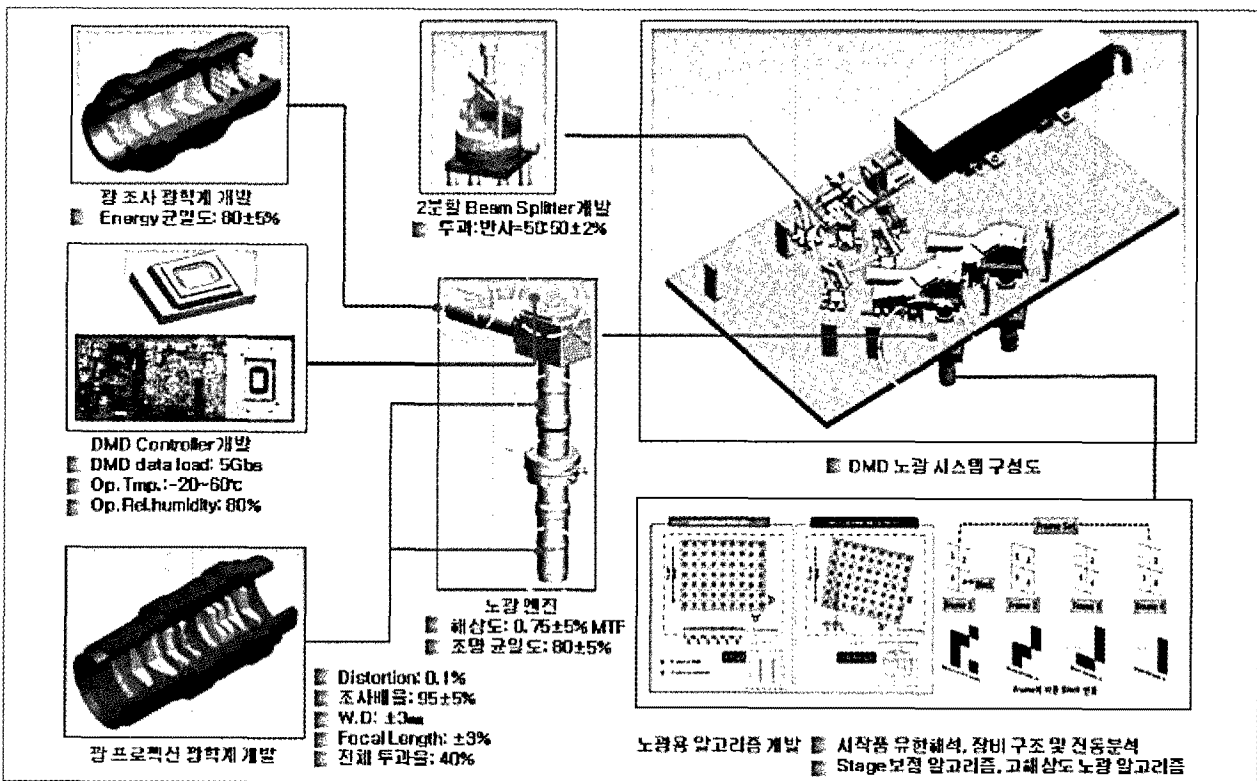


그림 4 DMD 마스크리스 노광 시스템의 구성도

나. 입력 빔의 크기를 10배, 세기 분포를 90%까지 갖는 광 조사 광학계

입력 된 빔의 크기를 조절해 주기 위한 BET (Beam Expander Telescope)는 405nm 레이저와 355 nm 레이저의 빔 크기에 적합하도록 별도의 배율로 조정하여, DMD 조사면의 크기에 대응하도록 시스템을 구성한다. 세기 분포를 90%까지 갖는 광 조사 광학계는 Fly-eye를 적용하여 레이저 광원에서 방출되는 빔의 단면(Profile)을 균일한 복사 조도로 구현 가능하도록 전용 소프트웨어로 광 조사 광학계를 설계하였다. Fly-eye 렌즈를 사용할 때의 다양한 분포에 대한 시험 데이터를 근거로 하여 렌즈 설계를 진행하여 5×5 형태의 광 조사 광학계를 개발하도록 하였다.(그림 5, 6)

다. 프로젝션 광학 모듈

광 프로젝션 광학계는 결상을 원하는 물체에서 발산되는 광선들을 수렴하여 물체의 같은 점에서 나온

광선들을 하나의 점에 모아 주어 물체를 다른 위치에 결상하도록 하는 광학계이다.

라. 광 변조 소자(DMD) 제어 컨트롤러

제어 컨트롤러는 광 조사 광학계로부터 조사된 빔을 사용자가 원하는 패턴의 형태로 DMD 내부의 미세 미러를 On/Off 반전시켜 조사된 빔을 해당 픽셀의 개수(1024×768=786,000)만큼 빔을 분할하여, 광 프로젝션 광학계로 전송하는 역할을 하는 것이다. 이 DMD 컨트롤러는 마스크리스 광 모듈 개발에서 입력된 패턴 영상을 생성하여, 조사된 빔을 결상 면까지 반사시켜 주는 핵심 제품이라 할 수 있다.(그림 7)

마. 입력 데이터를 각 노광 헤드에 적합하게 최적의 가공영역으로 분리하는 알고리즘 개발

노광을 요구하는 데이터 이미지가 Geber/DXF 데이터로 입력 시, 1차적으로 BMP 파일로 File

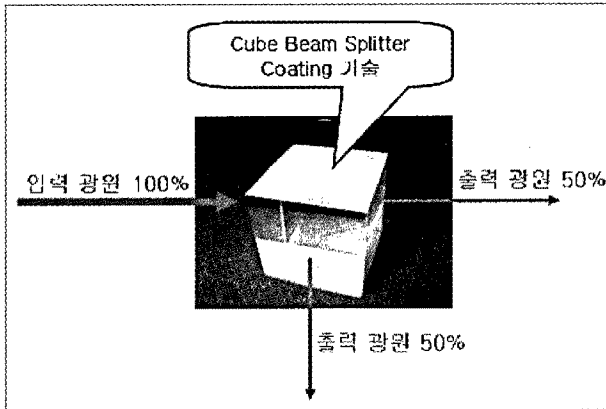


그림 5 Cube 빔 분할기 요소기술 개념도

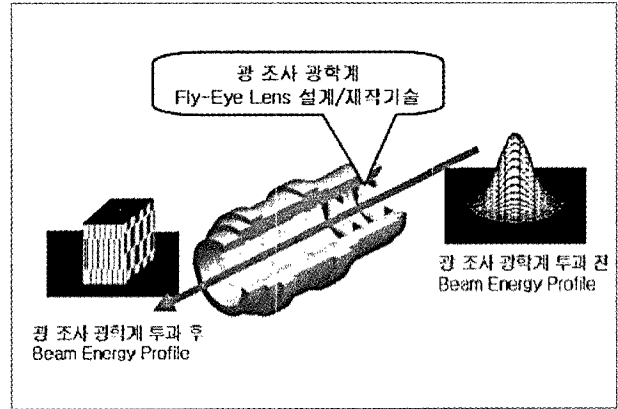


그림 6 광 조사 광학계의 개념도

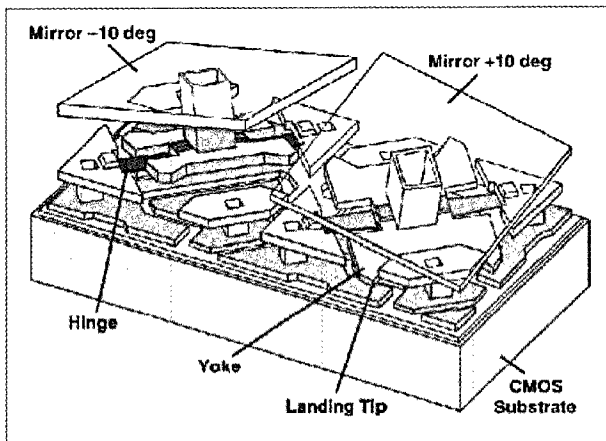
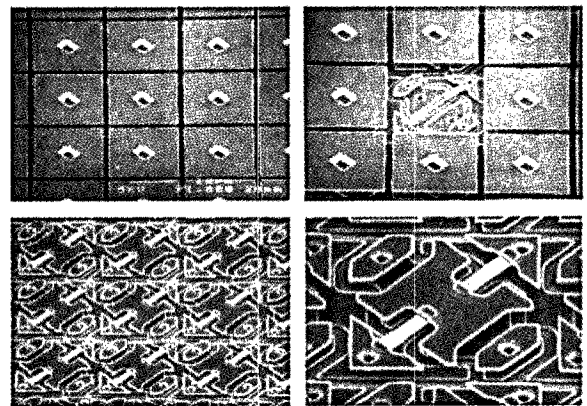


그림 7 TI 사의 DMD



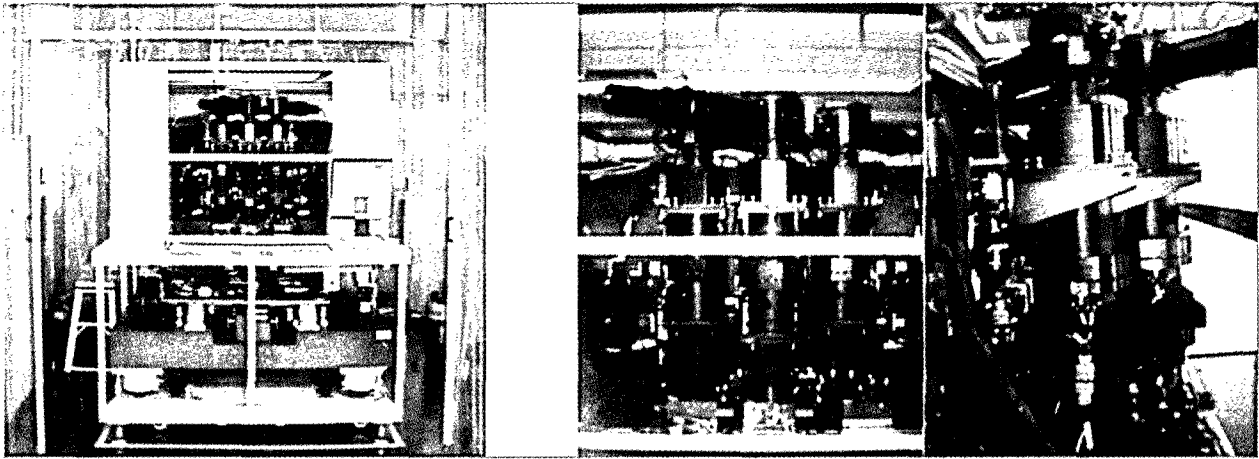


그림 8 제작된 DMD 마스크리스 노광 시스템

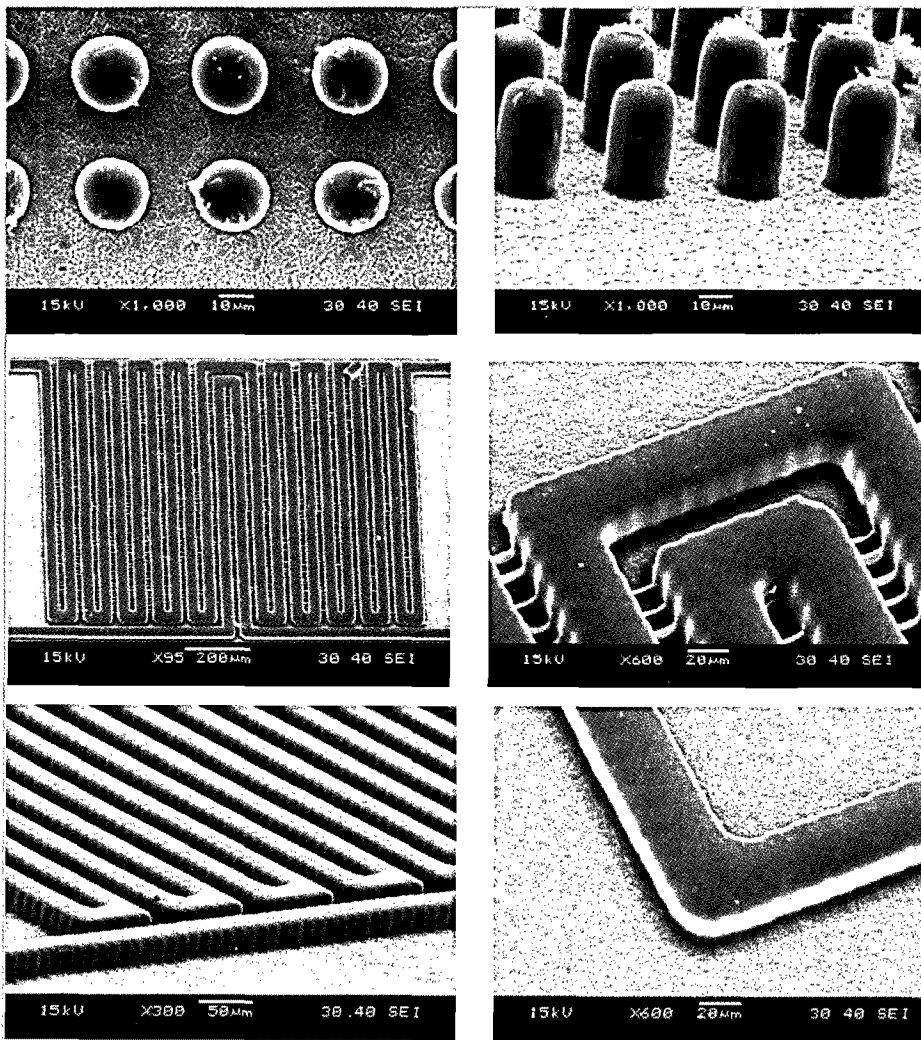


그림 9 제작된 DMD 마스크리스 노광 장비를 이용하여 실제 노광된 패턴

Converting한 후, DMD Cont-roller 노광 영역에 맞게 이미지를 분할 처리 해주기 위한 소프트웨어 알고리즘이 필요하다.

위에 언급된 핵심 구성안을 토대로 마스크리스 장비 제작을 진행하였으며 개발된 시스템을 그림 8에 나타내었다. 이 장비를 토대로 다양한 노광 실험을 수행하였으며 성공적으로 노광이 진행된 것을 그림 9에서 확인할 수 있었다. 물론 선행 개발된 기존의 수입 장비에 비해 해결해 나아가야 할 몇 가지 과제들이 놓여 있지만 생산 및 설계 분야의 지속적인 연구가 수행된다면 PCB 노광 기술에 있어 핵심적인 역할을 할 것으로 생각된다.