

# X-선 리소그래피공정의 무기물 입도에 따른 격벽 형상정밀도 특성

## Shape Accuracy Improvement of barrier ribs using Sub-micron Inorganic Powder in X-ray lithography

\*류승민<sup>1</sup>, 김동주<sup>2</sup>, 한만희<sup>1</sup>, #양동열<sup>1</sup>, 이승섭<sup>1</sup>, 박이순<sup>3</sup>

\*S. M. Ryu<sup>1</sup>, D. J. Kim<sup>2</sup>, M. H. Han<sup>1</sup>, #D.Y. Yang(dyyang@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>, S. S. Lee<sup>1</sup>, L. S. Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술원 기계공학과, <sup>2</sup> 경북대학교 센서 및 디스플레이공학과, <sup>3</sup> 경북대학교 고분자공학과

Key words : PDP, Barrier Rib, Paste, Inorganic powder, X-ray lithography

### 1. 서론

고용량의 데이터를 저장할 수 있는 차세대 광미디어인 블루레이와 HD-DVD의 등장 및 초고해상도 영상 (full HD) 을 가진 디지털 방송의 실시 등으로 인하여 최근의 평판디스플레이 관련 산업이 급속도로 성장하고 있다.<sup>1</sup> 그 중에서도 LCD (liquid crystal display)와 PDP(plasma display panel)는 서로 다른 기술을 바탕으로 대형 정보디스플레이라는 동일한 시장을 놓고 치열하게 경쟁을 하고 있다. 이러한 상호 경쟁을 통한 빠른 수준의 가격하락과 기술적 보완을 통하여 디스플레이 시장에서 그 시장영역을 점점 더 확장하고 있다. 특히 LCD의 대형화와 PDP의 고해상도화로 제품간의 성능차이가 점차 줄어들고 있으며, LCD는 시야각과 반응속도에서, PDP는 수명과 발열량에서 상당한 개선을 보이고 있다. 그러나 기술적 약점을 보완하는데 초점이 맞춰짐으로써, 제품의 성능향상이 차별화가 아니라 동질화의 방향으로 진전하고 있다.<sup>2</sup>

이러한 상황속에서 PDP의 기술적 향상을 위한 최근 연구는 신방전셀 디자인 개발, 신 방전모드의 개발, 고효율 방전 가스조성개발, 고효율 형광체 개발 및 신구동 방식의 개발 등을 통한 고효율화, 고정세 제조공정개발 및 고속구동 기술개발을 통한 고정세화, 새로운 격벽제조 공정 개발, 형광막 형성공정 개발, 전극 제조 공정개발, 구동회로 간소화 기술개발, 저가격 MgO 막 형성기술 개발을 통한 저가격화를 위하여 집중적으로 이루어져 왔다.<sup>3,4</sup> 특히, PDP 내의 플라즈마의 방전공간을 제공하여 단위 셀을 형성하는 격벽 (barrier rib)은 그 형상에 따라서 방전효율에 큰 영향을 미치며, 그 폭에 따라서 해상도에 큰 영향을 미친다. 42 인치 PDP에서 고해상도 (full HD, 1920 x 1080)를 구현하기 위해서는 피치가 약 150  $\mu\text{m}$ 이 되어야 하며, 특히 셀의 개구율이 90%일 경우 격벽의 폭은 15  $\mu\text{m}$ 가 되어야 한다. 그러나 현재까지 생산공정에서 사용되어온 스크린 프린팅 (screen printing), 샌드블라스팅 (sandblasting), 에칭 (etching), 포토리소그래피 (photolithography) 공정들로는 이러한 초고정세 격벽을 제작하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 기존 공정에 의하여 제작이 불가능한 격벽의 폭이 10  $\mu\text{m}$ 대의 격벽을 제작하기 위하여 X-선 리소그래피공정을 이용하였으며, 또한 sub- $\mu\text{m}$  크기의 무기물의 입도에 따라서 향상된 형상정밀도를 갖는 격벽을 제작하였다.

### 2. X-선 리소그래피 공정

자외선 (ultra violet)의 파장영역을 갖는 광원을 사용하는 포토리소그래피 (photolithography)공정과 비교하여 X-선 리소그래피공정에서는 사용되는 광원의 파장이 훨씬 짧아서 광의 투과도가 매우 좋은 특성을 나타낸다. 특히, 강도가 높은 X-선 ( $\lambda = 0.1 \sim 10 \text{ nm}$ )을 사용함으로써 고종형비 구조물을 쉽게 제작할 수 있으며, 기판이 부착된 스테이지를 스캐닝함으로써 대면적에서의 패턴형성이 가능하다. 표. 1 은 본 연구에 사용된 포항가속기 연구소(PAL, Pohang Accelerator Laboratory)의 9C1 (Deep Etch X-ray Lithography/Whitebeam) 빔라인의 주요변수를 나타내고 있다.

Table. 1 Specific parameters used in x-ray exposure at the PLS LIGA beam line (9C1).

Acceleration voltage (GeV)	2.5
Bending magnet (T)	1.323
Beryllium window ( $\mu\text{m}$ )	508
Helium spool (mm)	400
Polyimide ( $\mu\text{m}$ )	30
Distance to source (m)	15
Mask substrate ( $\mu\text{m}$ )	500 (Si)
Seed layer ( $\mu\text{m}$ )	Cr(0.1)/Au(0.3)
Au Absorber ( $\mu\text{m}$ )	30
Beam current (mA)	180
Scanning speed (mm/sec)	30

X-선을 이용하여 격벽을 제작하는 순서는 다음과 같다. 먼저 유리기판에 테이블 코터를 이용하여 200  $\mu\text{m}$ 의 높이의 약 3000~5000 cP의 점도를 가진 감광성 페이스트를 코팅한다. 코팅된 페이스트는 IR오븐을 이용하여 120  $^{\circ}\text{C}$ 에서 10 분간 건조하여 용매를 증발시키고 고형화시킨다. 이후 감광성 페이스트가 고형화된 유리기판과 X-선 마스크를 정렬한 후 X-선을 조사하여 고형화된 페이스트내의 모노머 및 올리고머를 중합(polymerization)시키고, 1 wt%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 의 현상액을 이용하여 패턴을 형성한다. Fig. 1 은 X-선을 이용하여 격벽을 제작하는 순서를 나타내고 있다.

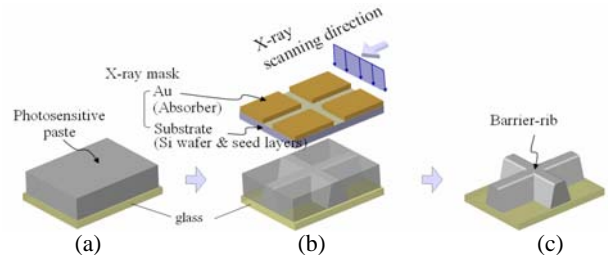


Fig. 1 The x-ray lithography process, (a) Coating paste & Drying, (b) X-ray mask alignment & X-ray Exposure, and (c) Development & Patterning of barrier rib.

### 2.1 X-선 마스크

X-선 마스크는 실리콘 웨이퍼의 기판위에 X-선 흡수체인 금 (Au)을 전기도금공정으로 40  $\mu\text{m}$  높이로 패터닝하여 사용하였다. Fig. 2 는 X-선 마스크를 제작하는 순서를 나타내고 있다.

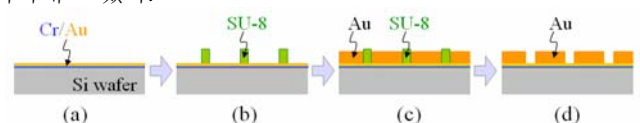


Fig. 2 Process to fabricate the x-ray mask, (a) Deposition of Seed layer, (b) PR pattern, (c) Au electroplating, and (d) Removal of PR.

### 2.2 감광성 페이스트

감광성 페이스트의 유기물은 바인더 폴리머, 모너머, 울

리고머, 광개시제, 용매 및 분산제, 계면활성제, 중합금지제 등의 첨가제로 구성된다. 60%의 고형분을 가지는 페이스트에 사용된 파우더는 PbO (60.0 wt%), SiO<sub>2</sub> (10.7 wt%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (29.0 wt%), ZrO<sub>2</sub> (0.3 wt%)로 이루어지며, 글래스 프리트(glass frit) 입도평균은 다음과 같이 사용하였다. 샘플 A의 평균입도는 0.94 μm, 샘플 B의 평균입도는 5.51 μm이다. 또한 필러 (filler) 입도는 다음과 같다. 샘플 C의 평균입도는 0.79 μm, 샘플 D의 평균입도는 6.16 μm이다.

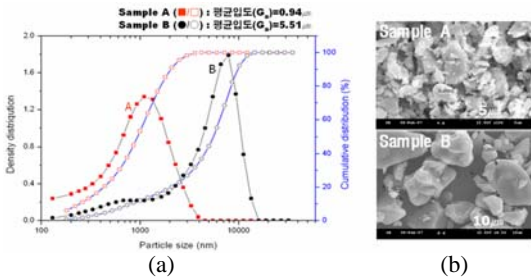


Fig. 3 (a) granularity of sample A and B, (b) SEM images of sample A and B

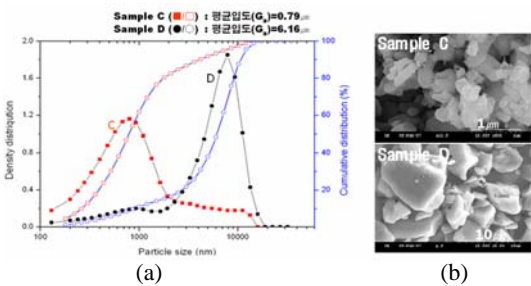


Fig. 4 (a) granularity of sample C and D, (b) SEM images of sample C and D

### 3. 결과

#### 3.1 광흡수량에 따른 패턴형상 비교

X-선이 감광성 페이스트에 흡수된 양에 따라 페이스트 내의 모노머, 올리고머의 중합 정도가 달라진다. 그러나 감광성 페이스트의 X-선 흡수율을 알지 못하므로 본 연구에서는 패턴의 형성 최적화를 위하여 코팅된 페이스트의 상부의 X-선 강도를 계산하였다. Fig. 3은 페이스트 상부에 조사된 X-선의 강도에 따른 현상 후 패턴형상의 그림이다.

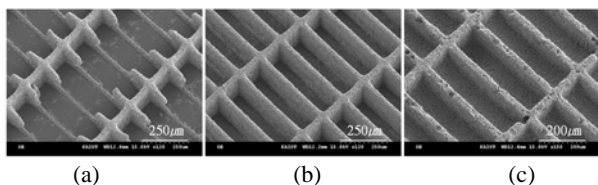


Fig. 5 Pattern of barrier rib vs. x-ray dose (a) under 1218 mJ/cm<sup>2</sup> ; deficient dose, (b) 1566 mJ/cm<sup>2</sup> ; optimal dose, and (c) over 2958 mJ/cm<sup>2</sup> ; excessive dose.

X-ray의 페이스트 상부에서의 강도가 1218 mJ/cm<sup>2</sup> 이하일 경우에는 모노머 및 올리고머의 중합이 미비하여 현상 시 패턴이 형성되지 않았다. 또한 2958 mJ/cm<sup>2</sup> 이상일 경우 약간의 X-선이 흡수체인 금(Au)을 통과하여 원하지 않는 영역까지 중합이 되어, 미현상 영역이 나타났다. 이 경우 격벽내의 크랙이 발생하였으며, 이는 중합시 과도한 수축으로 인한 내부응력에 의한 것으로 사료된다. 최적의 X-선 강도는 1566 mJ/cm<sup>2</sup> 임을 현상 후 패턴형상으로 파악할 수 있다.

#### 3.2 무기물 입도에 따른 형상정밀도

무기물의 B와 D로 이루어진 파우더를 가진 감광성 페이스트를 이용하여 패턴을 형성할 경우 Fig. 4 (a)와 같이 25

μm 이상의 폭을 가진 격벽은 형상정밀도 저하의 문제가 되지 않는다. 그러나 같은 파우더를 이용하여 15 μm의 X-선 투과 선폴을 가진 마스크를 사용하여 격벽을 제작할 경우, Fig. 4 (b)와 같이 격벽 상부 형상정밀도가 현저히 저하됨을 알 수 있다. 이는 무기물 B와 D의 입경에 비하여 격벽의 제작선폴이 너무 작으므로 현상 시 상부의 패턴이 붕괴되기 때문이다.

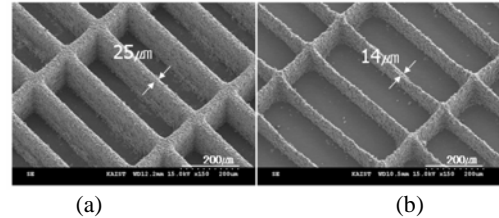


Fig. 6 Shape accuracy of barrier rib used sample B and D (a) barrier rib with 25 μm in width, (b) barrier rib with 14 μm in width.

Fig. 7은 무기물 A와 C의 파우더를 사용한 예이며, 이 경우 10 μm의 X-선 투과 선폴을 가진 마스크를 이용하였다. 무기물 A와 C의 입경은 Sub-μm으로 제작 선폴인 10 μm에 비해서 그 크기가 너무 작아서 격벽의 상부에도 균일하게 위치할 수 있으며, 보다 정밀한 격벽을 제작할 수 있다.

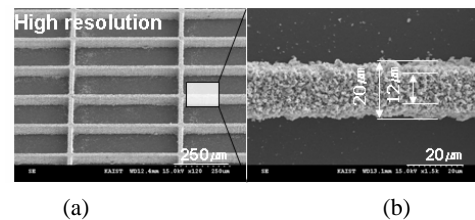


Fig. 7 Shape accuracy of barrier rib used sample A and B (a) barrier rib with 12 μm in width, (b) magnification image

### 4. 결론

X-선의 고투과력 특성을 이용하여 형상정밀도가 좋은 고중형비의 격벽을 제작하기 위하여 먼저 MEMS 공정을 이용하여 X-선 마스크를 제작하고 현상가능한 감광성 페이스트의 조성을 최적화하였다. X-선 노광량을 최적화하기 위하여 페이스트의 상부에서의 X-선 강도를 계산하여 1566 mJ/cm<sup>2</sup> 임을 파악하였다. 입경이 5~6 μm인 파우더를 사용하여 상부의 형상정밀도가 높은 폭 25 μm 이상의 격벽 제작이 가능하나, 15 μm 이내의 격벽을 제작할 경우 패턴할 폭과 파우더의 입경의 크기차이로 인하여 현상 후, 형상정밀도가 높이에 한계가 나타났다. 이를 해결하기 위하여 sub-μm의 입경을 가진 파우더를 페이스트에 사용하였으며, 이러한 방법으로 형상정밀도가 높은 고중형비의 격벽의 제작이 가능함을 알 수 있었다.

### 후기

본 연구는 포항가속기연구소에서 삼성 SDI의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

### 참고문헌

1. 서대식, "정보디스플레이 소자의 기초 및 응용", 숭실대학교출판부, pp. 292-315, 2000
2. 김창욱, "격화되는 평판 TV 시장의 가격경쟁", SERI 경제포커스, Vol. 45, 삼성경제연구소, 2005
3. 여운동, 정의섭, 김강희, "심층정보분석보고서 - PDP:고효율·고화질·저가격화를 위한 연구개발 동향 -", KISTI, 2004
4. 황기웅, 김재성, "고효율 PDP 기술 동향", 한국정보디스플레이학회지(KIDS) 제 2 권 제 4 호, pp. 13-18, 2001