

PDP 격벽 성형용 몰드 제작과 성형에 대한 연구

조인호*, 정상철*, 정해도**, 손재혁*

A Study on Mold Fabrication and Forming for PDP Barrier Ribs

In Ho Cho*, Sang Cheol Jeong*, Hae Do Jeong**, Jae Hyuk Son*

ABSTRACT

Plasma Display Panel(PDP) is a type of flat panel display utilizing the light emission produced by gas discharge. Barrier Ribs of PDP separating each sub-pixel prevents optical and electrical crosstalks from adjacent sub-pixels. Mold for forming barrier ribs has been newly researched to overcome the disadvantages of conventional manufacturing process such as screen printing, sand-blasting and photosensitive glass methods. Mold for PDP barrier ribs have stripes of micro grooves transferring glass-material wall. In this paper, Stripes of grooves of which width 48 μm and 220 μm , depth 124 μm , pitch 274 μm was acquired by machining hard and brittle materials of WC, Silicon, Alumina with dicing saw blade. Maximum roughness of the bottom and sidewall of the grooves was respectively 120 nm, 287 nm in grooving WC. Maximum tilt angle caused by difference between upper-most width and lower-most width was 2°. Maximum Radius of bottom curvatures was 7.75 μm . This results satisfies the specification for barrier ribs of 50 inch XGA PDP if the groove form of mold was fully transferred to the barrier ribs. Barrier ribs were formed with Silicone rubber mold, which is transferred from grooved hard materials. Silicone rubber mold has elasticity accommodating the waveness of lower glass plate of PDP.

Key Words : micro groove(미세홈), Barrier rib(격벽), dicing saw blade(다이싱 쏘 블레이드), Plasma display panel(플라즈마 디스플레이 패널), WC(초경합금), Silicone rubber(실리콘 러버)

1. 서론

플라즈마 디스플레이 소자 (Plasma Display Panel) 는 HDTV (High Definition Television) 가 시작되는 2001 년에는 약 1 조엔 규모의 시장이 형성 될 것으로 예상된다^[1]. 이러한 플라즈마 디스플레

이 소자 (Plasma Display Panel)는 40 인치 이상의 대형화가 가능하며 160 ° 이상의 시야각과 500 cd/m² 이상의 고휘도를 가지는 장점을 지니지만 현재 PDP 가격이 인치당 2-3 십만원 정도의 고가이므로 기존의 공정수를 줄이고 단위공정에 소요되는 시간을 줄이려는 연구가 진행 중이다. PDP는 기체 방전시 생기는 플라즈마로부터 나오는 UV 광을 이

* 부산대학교 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

용하여 개개의 서브픽셀의 형광체를 여기시켜 가시광 영역의 빛을 발하게 함으로써 문자 또는 그래픽을 표시하는 소자이다. 픽셀은 디스플레이의 최소 단위이며 칼라 PDP의 경우 세가지 R(red), G(green), B(Blue) 서브픽셀을 가지는데 격벽(Barrier Rib)은 이러한 개개의 서브픽셀로 가스 방전공간을 분리시켜 인접 픽셀과의 전기적 및 광학적 상호혼신(Crosstalk)을 방지하며 방전형성을 위한 전극간 거리를 결정하게 된다. Fig. 1에 도시한 PDP 격벽은 각사마다 그 사양은 다르나 대략 40" VGA 급 PDP의 경우에 약 80 μ m의 폭과 약 150 μ m의 깊이, 격벽간격은 280 μ m이다.

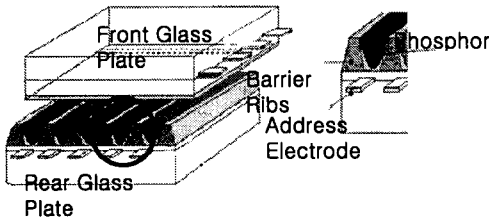


Fig. 1 Schematic Structure of AC PDP

해상도를 결정짓는 격벽의 기존 제조 공정으로는 UV 필름의 선택적 현상으로 열린 부분을 블라스팅으로 격벽을 생성하는 샌드블라스팅법(Sand Blasting), 일정두께의 글라스페이스트를 스크린 프린팅으로 10-15회 정도 적층하여 형성하는 스크린 프린팅법(Screen Printing), 감광성유리를 이용하여 선택적으로 제거시켜 형성하는 감광성유리법(Photosensitive glass) 등이 있다. 이들 공정은 불필요한 재료소비와 공정의 복잡성, 균일하지 못한 격벽 높이, 격벽 에지(edge)의 불완전한 형상, 고해상도에 따르지 못하는 공정결합과 격벽 형성 공정에 걸리는 시간 및 비용 측면에서 불리하다. 상기 기술된 기존 방법들의 단점보완을 위해 최근 홈 가공된 몰드를 이용하여 유리페이스트를 가압 성형하여 제작하는 방법이 현재 개발 중이다^[2]. 이러한 홈을 가진 몰드를 제작하기 위하여 LIGA의 전주공정이 있으나 비용적인 면에서 실용적이지 못하며 Wire EDM의 경우 그 형상 및 표면 거칠기 측면에서 불리하다. 이에 본 연구에서는 반도체 공정에서 개개의 칩으로 웨이퍼를 절단하는데 사용하는 다이싱 블레이드(Dicing Blade)를 이용하여 홈 가공을 수행하고 가공된 몰드의 표면과 형상 정도를 실리콘 러

버 몰드로 전사시켜 이 실리콘 러버 몰드로 격벽을 성형하는 공정을 제시하고자 한다.

2. 몰드의 홈 가공 특성

2.1 기존 홈 가공의 예와 홈 가공 전처리

Copper 나 Ni-P alloy 등의 연질 금속을 다이아몬드 공구를 이용하여 홈 가공을 적용한 몰드의 경우에 그 적용은 플라스틱성형에 한정된다. 연질 금속은 소성변형으로 인한 버(burr) 형성과 열적 안정성 및 화학적 안정성이 부적합하다고 판단하고 본 실험에서는 연삭성이 양호한 경질 소재에 한하여 홈가공을 수행하였다. 몰드의 재질로서는 HIP 처리된 WC, 알루미늄, 실리콘 등이며 그 전처리는 Table 1과 같다. 특히 WC는 SiC와 함께 플라스틱이 아닌 유리 프레즈넬 렌즈(fresnel lens)의 성형 몰드 목적으로 그 가공 연구가 진행중이다^[3].

Table 1 Experiments Material and Preparation

Materials	WC	Alumina	Si (wafer)	STD11
Spec.	V2 (CIS019)	99.8 (Purity)	(100), P-type	Tempered
Hardness	76 (HRC)	74.5 (HRC)	11 GPa, Hv	58 (HRC)
Preparation	Ground Resin Bond Wheel #2000	Ground Resin bond Wheel #400	Cleaned	Ground SG #220

2.2 실험방법과 조건

Micro Automation사의 Model 1006 Dicing Saw를 이용하여 홈 가공을 행하였으며 그 실험조건은 상기의 Table 2와 같다. Dicing Saw는 다이아몬드 입자가 Ni 전착되어 있는 지름이 약 55.56mm 정도의 다이아몬드 블레이드를 장착하게 되고 에어스핀들로 고속회전하며 X, Y, Z, θ 축 제어가 되는 진공척 작업대를 가진다.

2.3 홈가공과 표면

Fig. 1에 도시한 격벽(Barrier Rib)과 상부 유리판(front glass plate) 사이에는 약 10 μ m 정도의 간격을 가지게 되며 이때 격벽 상부면의 거칠기는 상

하판 결합이후 배기 공정과 방전가스 주입 공정시간을 지연시키게 된다. 따라서 격벽 형상을 전사하게 될 몰드에서의 바닥면의 거칠기 인자는 중요한 공정 변수가 된다. 미세홈의 거칠기 측정은 비접촉 측정법인 광간섭을 이용한 인텍 엔지니어링사의 Optical Dimensional Metrology Center로 측정하였고 Fig.2에 그 측정예를 나타낸다. 광학사진 속의 바닥면의 홈폭은 47 μ m 이며 측정부분의 크기는 20 μ m \times 67 μ m 이다.

Table 2 Experimental Conditions

Mateiral	SKD11	Alumina	Si	WC
Kerf	40 μ m	45 μ m	220 μ m	46,51,220 μ m
Depth of cut	50 μ m	150 μ m	100 μ m	100 - 150 μ m
Feed rate	0.5-10 mm/sec	1,2,3,5, 10,12 mm/s	20 mm/s	0.5-7 mm/sec
Grit size	4-6 μ m	4-6 μ m	4-6 μ m 2-6 μ m	4-6 μ m
Wheel Speed	30000 rpm			
Coolant	tap water			
Line pitch	275 μ m			

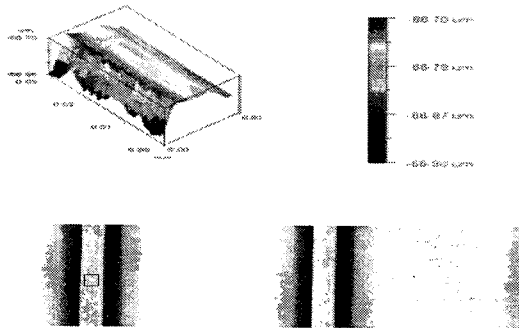


Fig. 2 Example of Roughness of Boxed Area of Bottom Surface (WC)

WC의 홈가공에 있어서는 7 mm/s 의 이송속도로 가공시 블레이드의 파손이 일어났으며 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 바닥면 거칠기의 최소값은 1 mm/s 의 이송속도로 가공시 Ra = 16.4 nm, 최대값은 2mm/s 의 이송속도에서 Ra = 109.2 nm으로 나타났다. WC의 가공시편의 크기는 100 \times 100mm 였으며 총 200mm의 가공길이를 가공하였을 때의 2개의 라인의 각 3개 지점에서의 거칠기 값을 나타

내었다. 95mm와 195mm 지점의 거칠기가 다른 지점과 50mm 가량의 차이가 나는데 이는 WC 시편을 다이싱 쏘의 진공장착 시 시편의 완전한 고정이 이루어지지 않았음을 의미한다. Si의 홈가공에 있어서 그 바닥면의 거칠기는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 Feed rate 보다는 grit size에 영향을 받는 것으로 판단되며 40-60nm 의 거칠기값을 가진다. Alumina의 경우 3 mm/s 이상의 이송속도 구간에서 Fig. 5와 같이 그 바닥면에서 소결 기공을 중심으로 크랙이 전파되어 연결되어 있음을 확인 할 수 있다.

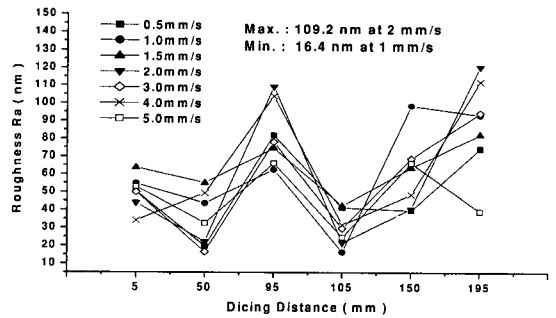


Fig. 3 Bottom Roughness of Grooves in WC

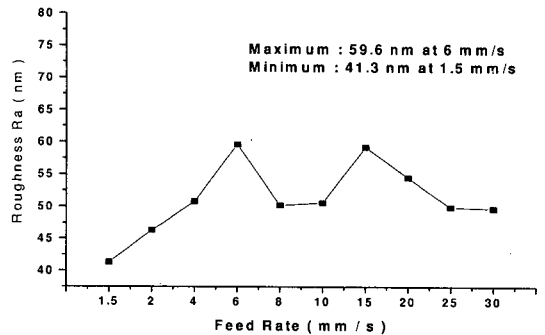


Fig. 4 Bottom Roughness of Grooves in Si

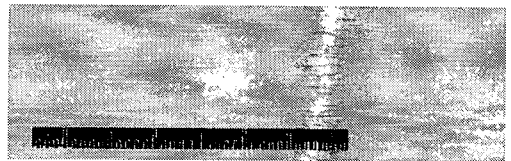


Fig. 5 Bottom Surface of Grooves (Alumina)

STD11의 경우는 재료자체의 연성으로 인하여 블레이드 마모, 버(burr) 등으로 본 연구에 부적합하다.

2.4 홈의 측면 거칠기와 그 측정방법

홈 가공면 중 측면의 거칠기는 격벽 성형시 몰드를 이형할 때 이형성공여부와 직접적인 관련이 있다. 이형시 모든 마찰력과 몰드의 미소한 좌우 흔들림에도 격벽의 완전한 이형을 위해서는 측면의 표면조도가 뛰어나야 한다. 미세홈의 옆면의 측정은 까다로운 작업이나 본 연구에서 제작된 홈의 측면을 관측하기 위해 Fig. 6와 같은 새로운 방법을 시도하였다. (a) 와 같이 홈 가공이 된 시편을 정밀 연삭된 유리기판 위에 자외선 경화 수지를 도포한 후 압력을 가한 상태로 자외선을 조사시켜 경화시킨다(b). 그리고 뒷면으로부터 홈의 바닥면까지 연삭을 진행하면(c) 개개의 사각형 단면을 가진 편형상을 얻게 된다. 이후 초음파와 염화메틸렌을 이용하여 자외선 경화 수지를 제거한다. 이후 순수(DI)로 초음파세척을 행하여 잔류 불순물을 제거한다. 상기 방법으로 준비된 시편을 Form Talysurf Series 2를 이용하여 측면 표면거칠기를 측정하였다.

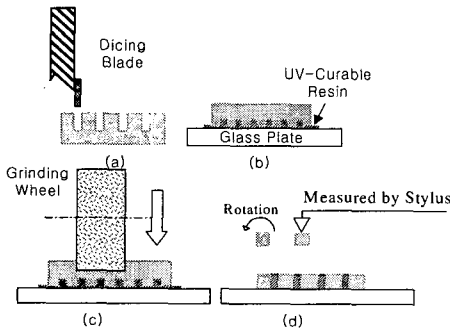


Fig. 6 Preparation for measuring roughness of side wall of grooves

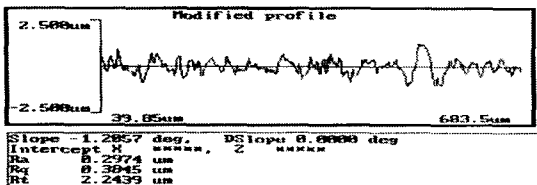


Fig. 7 Roughness of Sidewall of Groove

홈 측면의 거칠기는 $644\mu\text{m}$ 길이를 측정하였을 때 $R_a=297\text{nm}$ 로 양호한 가공 결과를 얻었다(Fig. 7).

2.5 홈의 형상 및 블레이드 마모 특성

블레이드 마모는 가공되어진 홈의 단면형상으로 간접적으로 측정하였다. WC 재질에 대하여 적용한 가공조건은 이송속도 1mm/s 로 총 가공거리 1300mm 이다. 홈 형상의 변화를 분해능 $0.5\mu\text{m}$ 의 공구현미경(Olympus, 500x)으로 측정하였다.

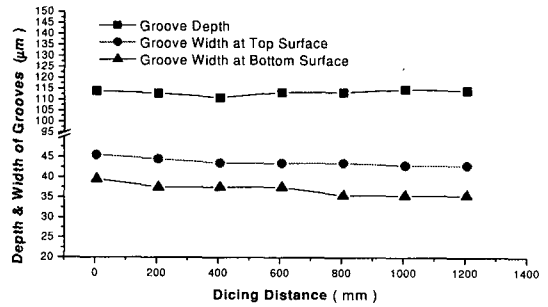


Fig. 8 Variance of Groove Dimensions according to Dicing Distance(WC material)

Fig. 8과 같이 홈 폭차이는 홈상부면과 홈 바닥면 양쪽에서 측정된 결과 1205mm 가공지점에서 홈 상부면의 홈폭의 변화는 $2.5\mu\text{m}$, 홈 하부면의 홈폭의 변화는 $4.5\mu\text{m}$ 이었으며 이는 가공방향에 따른 경향성을 가지므로 블레이드의 측방향의 마모로 가정할 수 있다. 홈 깊이의 차이는 시편두께의 편차와 작업테이블의 이송오차 및 장착오차로 인하여

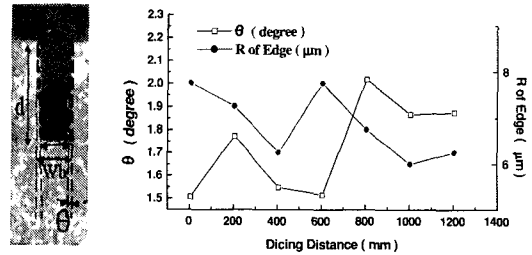


Fig. 9 Radius of Curvature(R) and Tilt Angle (θ) of Grooves according to Dicing Distance (WC material)

가공진행과의 경향성을 가지지 않으므로 마모로 가정할 수 없다. 가공 전후만의 블레이드의 돌출량(Exposure)을 실제 측정된 결과 $2.3\mu\text{m}$ 의 반경방향

마모량을 보였다. Fig. 9의 단면사진에서 양모서리를 제외한 직선부분의 홈바닥 폭을 W_a , 양모서리를 포함한 폭을 W_b , 홈의 깊이를 d 라고 하면 그 기울어진 각 θ 는 $\theta = \arctan((W_b - W_a)/2d)$, 바닥면 양모서리의 곡률반경 $R = (W_b - W_a)/2$ 로 계산할 수 있다. 그 결과치를 Fig. 9의 그래프에 나타낸다.

실리콘의 홈가공시 그 마모는 통상 3 m 가공시 $1\mu\text{m}$ 의 반경방향 마모량이므로 본 연구에서는 제외한다.

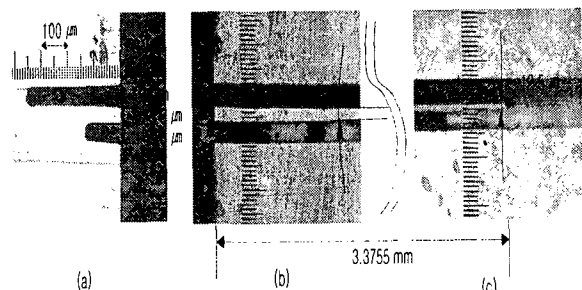


Fig. 10 High aspect ratio groove and minimum distance between grooves

Table 3 Axial wear of blade (Alumina)

Feed Rate	Axial Wear at 300 mm of Dicing Distance
1mm/s	25 μm
2mm/s	12 μm
3mm/s	20 μm
5mm/s	10 μm

Fig. 10에는 초경합금의 고종횡비 홈 가공특성과 홈 간격의 최소치 특성에 대한 실험결과를 나타낸다. 윗쪽 홈가공선과 아랫쪽 홈 가공선과의 기울어짐 각도(β)를 임의의 각도 0.19° 로 설정하여 가공을 행한 결과 (a)의 단면 사진에 나타낸 윗쪽 홈의 경우 홈폭 $35.3\mu\text{m}$ 홈깊이 $355.5\mu\text{m}$ 로 종횡비 7.8의 형상가공이 가능하였다. (b)는 (a)의 평면사진이며 (c)에서와 같이 가공길이 3.3755mm 에서 크랙이 발생하여 $12.5\mu\text{m}$ 의 최소 홈간격 특성을 나타내었다.

Alumina의 경우 블레이드 파손은 일어나지 않

았으며 Table 3에 블레이드의 반경방향 마모량을 표시한다.

2.6 치핑 특성

실리콘 웨이퍼 재료에 대한 다이싱의 경우 다양한 이송속도 범위(30-60mm/s)에서의 치핑 결과는 일정 블레이드 속도에 대해 이송속도가 증가하면 그 치핑은 증가한다고 보고되었다¹⁴⁾. 본 실험에서 실리콘 홈가공시 30 mm/s 이하에서 실험을 수행한 결과 15mm/s, $14.5\mu\text{m}$ 를 제외하면 그 치핑은 이송 속도에 의존하지 않으며 평균 $7.8\mu\text{m}$ 의 치핑크기를 나타낸다(Fig. 11).

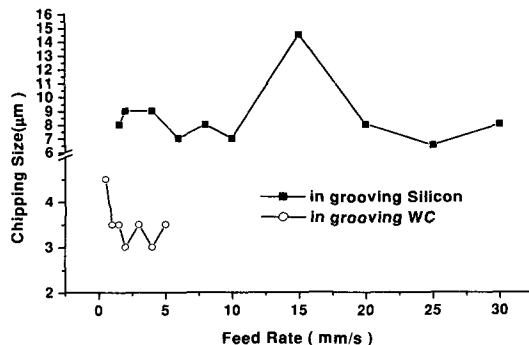


Fig. 11 Chipping Size in grooving Si and WC

초경 다이싱의 경우는 이송속도 0.5 - 5 mm/s의 좁은 범위에서의 가공이므로 그 치핑의 경향은 뚜렷하지 않다(Fig. 11). 공구현미경(x500)으로 초점을 조절하면서 연삭 결과물과 구별하였으며 치핑의 최대크기는 0.5mm/s에서 $4.5\mu\text{m}$ 로 나타났다.

3. 실리콘 러버 몰드로의 전사와 격벽성형

상기 홈가공된 경질재료의 몰드의 표면과 형상 특성을 전사시키며 PDP의 하부 유리기판의 웨이브니스(waviness)를 추종하기 위해 본 연구에서는 실리콘 러버를 이용하여 글라스 페이스트(NP-7853P)로 격벽을 성형하였다.

실리콘 러버는 경화후 수축율이 통상 0.1%로써 미세홈의 형상을 전사시키는데 적합하며 일정시간 300°C 정도의 열 공정에도 안정한 것으로 알려져 있다. 다우코닝사의 Silastic E RTV를 사용하였으

며 그 인장강도는 5.5Mpa이다.

Fig. 12(c) 형상의 실리콘 러버 몰드를 제작하기 위해 경질재료의 몰드(Hard Mold)의 홈가공을 하게 된다. 격벽의 간격 폭에 해당하는 홈가공(Fig. 12(a))과 격벽의 홈 폭에 해당하는 홈가공(Fig. 12(b))를 각각 수행하고 (b)의 경우 이형제를 이용하여 최종 실리콘 러버 몰드(c)를 제작하고 하부 유리기판에 글라스 페이스트를 일정두께 도포한 뒤 압착 가열하여 격벽을 건조 성형하였다. 실리콘 러버 몰드(Fig. 12)는 진공주형기(Chemivac-85S)를 사용하여 76cmHg의 진공압력 하에서 10 분간 탈포 후 열풍건조로에서 경화 과정을 거쳐 제작된다.

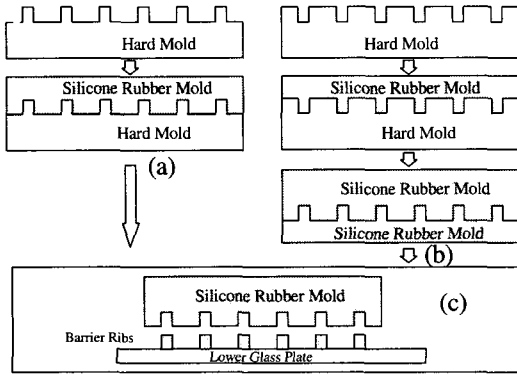


Fig. 12 Forming of Barrier Ribs by Silicone Rubber Mold

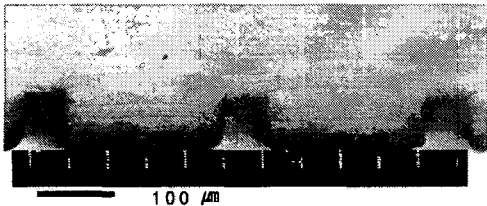


Fig. 13 Optical Image of Silicone Rubber Mold

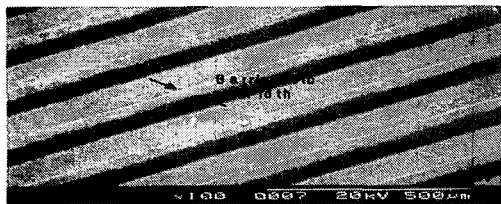


Fig. 14 SEM Image of Formed Barrier Ribs

Fig. 14의 제작된 격벽은 50 μ m의 폭과 100 μ m의 높이를 가지며 가지며 Fig. 13의 실리콘 러버 몰드와의 높이 오차 최대 3 μ m의 오차가 발생하는 것으로 나타난다.

4. 결론

본 연구는 PDP 격벽성형용 몰드제작을 목적으로 WC, Si, Alumina 와 STD11의 미세분 가공에 대해 다이싱(dicing) 공정을 도입하였다. STD11 및 Alumina 는 각각 버와 블레이드의 심한 마모 및 균열 전과등으로 본 연구에 적합치 않았으며 WC와 Si에 대하여 PDP 격벽의 폭과 격벽 간격에 해당하는 홈을 가공하고 이를 실리콘 몰드로 전사시켜 PDP의 격벽을 성형하는 새로운 공정을 도입하였다. 다이싱 공정으로 가공된 홈은 형상측면에서 그 기울어진 각(θ)은 최대 2°였으며 바닥면 모서리 부분의 곡률반경은 최대 7.75 μ m 계산되어졌다. 가공면 거칠기 측면에서는 WC의 경우 바닥면은 Ra = 120 nm , 측면은 Ra=297nm이었으며 Si의 경우 59.6nm로 양호한 결과를 얻었다. 마모면에서는 1300mm의 가공거리, 1mm/s 의 이송속도 조건에서 그 마모는 축방향마모 4 μ m , 반경방향 마모 2.3 μ m 의 마모특성을 보였다. 상기 가공된 홈의 고품위면과 형상정도가 전사된 실리콘 러버 몰드를 제작하여 격벽 성형시 이형성 및 하부기판의 웨이브니스 추정성을 부여하도록 하였다. 본 연구에서 제안된 새로운 공정으로 기울어진 각(θ) 감소에 따른 PDP의 방전공간 확대, 그로 인한 방전효율 증가 및 성형될 격벽 상면의 거칠기 감소로 인한 배기와 방전가스주입공정의 공정시간 단축 그리고 격벽 성형공정의 단순화로 인한 공정시간 감소 등이 기대된다.

참고문헌

1. 이준신, "Display 기술 Roadmap 과 신기술동향," 한국정보디스플레이학회지, Vol. 1, No. 1, 2000.
2. 류재화, "PDP Cell 구조와 격벽형성기술," 평판 디스플레이 기술 심포지엄
3. H.Suzuki, "Ultra Precision Grinding of Micro Fresnel shape," ABTEC, pp. 59-64, 1999.
4. Toshiharu MIWA, "Blade wear and wafer chipping in dicing process," ICPE, pp. 401, 1997.