

몰드와 전자기파에 의한 PDP격벽의 성형에 관한 연구

손재혁*, 임용관*, 정영대*, 정성일*, 정해도**

A Study on Plasma Display Panel Barrier Rib Fabrication by Mold and Electromagnetic Wave

Jae-hyuk Son*, Yong-kwan Im*, Young-dae Jung*, Sung-il Jeong* and Hae-do Jeong**

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. The mold for forming the barrier ribs has been newly researched to overcome the disadvantages of conventional manufacturing processes such as screen printing, sand-blasting and photosensitive glass methods. The mold for PDP barrier ribs have stripes of micro grooves transferring glass-material wall. In this paper, Stripes of grooves of which width $48\mu\text{m}$, depth $124\mu\text{m}$, pitch $274\mu\text{m}$ was acquired by machining of single crystal silicon with dicing saw blade. Maximum roughness of the bottom of the grooves was 59.6 nm Ra in grooving Si. Barrier ribs were formed with silicone rubber mold, which is transferred from grooved Si forming hard mold. Silicone rubber mold has the elasticity, which enable to accommodate the waviness of lower glass plate of PDP. The methods assisted by the microwave and UV was adopted for reducing the forming time of glass paste.

Key Words : Plasma display panel (플라즈마 디스플레이 패널), Barrier rib (격벽), UV transmissible silicone rubber (자외선투과용 실리콘 고무), Microwave (마이크로파), UV (자외선), IR(적외선)

1. 서론

현대는 정보화 사회로서 정보처리 시스템의 발전과 보급에 따른 디스플레이의 중요성이 강조되고 있다. 이러한 표시소자 중, 현재 CRT가 주종을 이루고있으나, 부피, 구동전압 등의 측면에서 불리한 점이 많아 새로운 표시소자의 개발이 요구되고 있으며, 이중 플라즈마 디스플레이 패널(Plasma Display Panel)은 후막기술을 이용한 대형화, 경량

화, 박형의 이점으로 관심의 초점이 되고 있다. PDP는 기본적으로 기체방전을 이용한 표시장치이다. PDP에 쓰이는 방전기체는 He, Ne, Ar 또는 이들의 혼합기체를 사용하여 바탕기체(Buffer Gas)를 형성하고, 형광체를 발광시키는 진공자외선의 샘으로 여기에 소량의 Xe 기체를 섞는다. 40 인치 이상의 대형화가 가능하며 160° 이상의 시야각과 500 cd/m^2 이상의 고휘도를 가지는 장점을 지니지만 현재 PDP 가격이 고가이므로 기존의 공정 수를 줄이고 단위공정에 소요되는 시간을 줄이려는 연구가

2002년 1월 2일 접수

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

진행 중이다. Fig. 1에 도시한 PDP 격벽은 PDP 후면 기관위에 well type이나 stripe type으로 주로 형성되는데, 폭 50~100 μ m, 높이 100~200 μ m의 단면 형상을 하며, 2장의 유리 기관의 간격을 유지하고 가스방전공간을 확보하며 인접 픽셀과의 전기적 및 광학적 상호혼신 (Crosstalk)을 방지한다^[1].

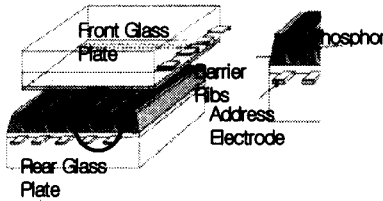


Fig. 1 Schematic Structure of AC PDP

격벽 형성 기술은 PDP제조기술 중에서도 정밀도에 가장 크게 영향을 주는 중요한 공정이며 현재 격벽을 생성하기 위한 공정으로는 Fig. 2처럼 샌드 블라스팅, 스크린 프린팅법이 있으며 그 외에도 감광성유리페이스트법 등이 적용되고 있으나 이러한 기존 공정들은 불필요한 재료소비와 공정의 복잡성, 균일하지 못한 격벽 높이, 격벽 에지(edge)의 불완전한 형상, 고해상도에 따르지 못하는 공정결함

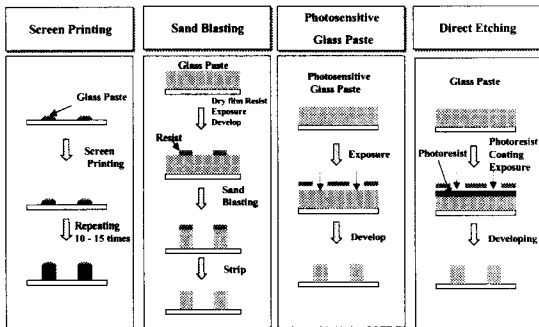


Fig. 2 Conventional methods for barrier ribs

과 격벽 형성 공정에 걸리는 시간 및 비용 측면에서 불리하다. 양산을 고려중인 국내외의 많은 PDP 업체에서는 Sand Blast 및 Photo Casting 공정에 대해 상대적으로 많은 관심을 기울이고 있으나, 공정 기술 및 재료기술의 미 확립으로 인해 공정상의 한계점이 완전히 해결되지 않은 상태이다. Fig. 3은 이러한 기존 방법들의 단점의 보완을 위해 최근 홈 가공된 몰드를 이용하여 유리페이스트를 가압 성형

하여 제작하는 프레스 법이다^[2].

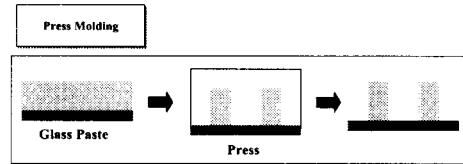


Fig. 3 Suggestion of new method for barrier ribs

이에 본 연구에서는 반도체 생산공정 가운데 웨이퍼제조 공정인 전공정과 어셈블리(assembly) 공정인 후 공정 사이의 공정으로 Silicon 등의 wafer를 고속으로 회전하는 다이아몬드 블레이드(Diamond blade)로 개개의 다이(die)로 절단 시 사용하는 다이싱 블레이드(Dicing Blade)를 이용하여 웨이퍼(wafer)의 홈 가공을 수행하여 하드 몰드를 제작하고 이 하드 몰드의 이형성을 개선하기 위해 웨이퍼의 표면과 형상정도를 Rapid Tooling 기술 중 Silicone RTV(Room Temperature Vulcanizing) Rubber로 전사시키고 이 실리콘 러버 몰드에 전자기파의 일종인 Microwave와 UV 및 IR을 조사시켜 격벽제조시간이 단축되고 제조비용이 절감될 수 있는 개선된 PDP 격벽 성형 공정을 실현하였다.

2. 몰드 제작

2.1 하드몰드

몰드의 요구조건 중 몰드 홈의 고품위 면과 고정밀도 형상가공이 가능한 가공성을 만족해야한다. 연질금속은 소성변형으로 인한 버(burr) 형성과 열적 안정성 및 화학적 안정성이 부적합하다고 판단하고 본 실험에서는 소성변형이 적은 경취성 재료로의 그 재료선정에 있어 공구의 마모가 적고 연삭능이 뛰어나며 고품위 면과 고정밀도 형상의 가공성이 좋은 재질인 실리콘 단결정 웨이퍼에 홈 가공을 수행하였다.

2.1.1 실험방법과 조건

Si 다이싱 공정에서 그 치핑 현상을 방지하기 위해서는 하향절삭과 이송속도를 줄이고, 블레이드 속도를 높이는 조건이 유리한 것으로 보고되었다^[3]. 실리콘웨이퍼는 650 μ m의 두께와 150mm직경의 6인치 웨이퍼를 이용하였고 Micro Automation사의

Model 1006 Dicing Saw를 이용하여 홈 가공을 행하였으며 그 실험조건은 Table 1과 같다. Dicing Saw는 다이아몬드 입자가 Ni전착 되어 있는 지름이 약 55.56mm 정도의 다이아몬드 블레이드를 장착하게 되고 에어스핀들로 고속회전하며 X, Y, Z, θ 축 제어가 되는 진공척 작업대를 가진다.

Table 1. Experimental Conditions

Material	Depth of cut	Blade Thickness.	Feed rate	Grit-size
Silicon	150 μ m	200 μ m	1.5,2,4,6,8,10,15,20,25 mm/s	4-6 μ m

2.1.2 홈가공과 표면

Fig. 1에 도시한 격벽(Barrier Rib)과 상부 유리 기판(front glass plate) 사이에는 약 10 μ m 정도의 간격을 가지게 되며 이때 격벽 상부면의 거칠기는 상,하관 결합이후 배기 공정과 방전가스 주입 공정시간을 지연시키게 된다. 따라서 격벽 형상을 전사하게 될 몰드에서의 바닥면의 거칠기 인자는 중요한 공정 변수가 된다.

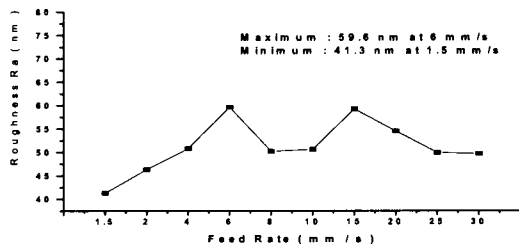


Fig. 4 Bottom Roughness of Grooves in Si

단결정 실리콘 웨이퍼상에서의 홈가공은 4-6 μ m 연마입자크기의 다이아몬드 블레이드로 이송속도 1.5~30mm/s 범위에서 깊이 150 μ m, 폭 200 μ m의 홈가공을 수행한 결과 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 그 바닥면 거칠기의 최소값은 1.5 mm/s의 이송속도로 가공시 41.3 nm Ra, 최대값은 6mm/s의 이송속도에서 59.6 nm Ra로 나타났다. 이송속도에 대한 영향은 이송속도 1.5~4mm/s의 구간에서 선형적인 구간이 존재하나 이로써 이송속도와 거칠기의 선형성을

규정하기는 힘들며 Feed rate 보다는 grit size에 영향을 받는 것으로 판단되며 40-60nm Ra의 거칠기 값을 가진다. Fig. 5에 그 측정을 나타낸다. 광학사진 속의 바닥면의 홈폭은 45 μ m이며 측정부분의 크기는 약 90 μ m \times 90 μ m이다.

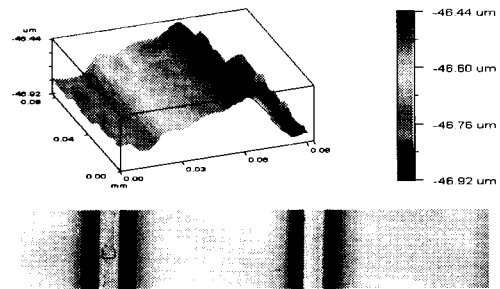


Fig. 5 Roughness of Boxed Area of Bottom Surface (Si-Wafer)

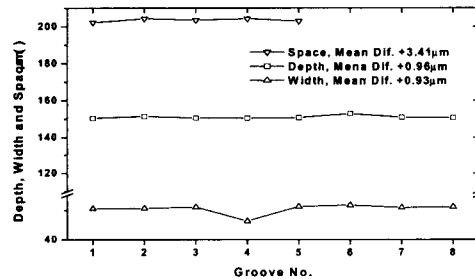


Fig. 6 Accuracy of Master Pattern Shape (Si Wafer)

2.1.3 홈의 형상

형상의 정밀도는 가공조건과 실제 가공된 홈을 비교함으로써 그 형상의 정밀도를 측정하였다. Fig. 6과 같이 홈의 평균 폭 오차는 +0.93 μ m, 평균 깊이가 오차는 +0.96 μ m, 평균 간격 오차는 +3.41 μ m이었다. 오차수치 앞 +부호는 가공조건보다 격벽의 치수가 증가함을 나타낸다. Fig. 7은 Dicing Blade를 이용하여 가공한 하드몰드의 SEM 사진이다.

2.2 소프트 몰드

금속이나 금속산화물과 세라믹은 통상 500 mJ/m²이상으로 높은 표면에너지로 분류할 수 있

다. 이러한 높은 표면에너지는 계면에서 강한 힘으로 나타나게 되어 부착 일을 증가시키게 되고 표면의 오염이 심하게 된다.

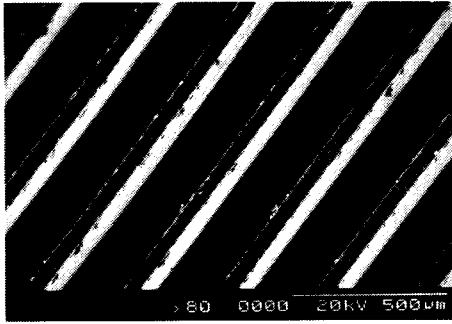


Fig. 7 SEM Images of PDP barrier ribs (Si Wafer)

낮은 표면에너지를 갖는 재료로는 플라스틱, 고무와 섬유 등으로 그 표면 자유에너지는 통상 50 mJ/m^2 이하이다^[4]. 본 연구에서 하드몰드로 제작한 실리콘 웨이퍼는 높은 표면에너지로 인해 직접 격벽을 성형하고 이형 시킬 때 성형된 격벽이 웨이퍼에 부착된다. 이러한 이유로 상기 홈 가공된 실리콘 몰드의 표면과 형상특성을 전사시키고 PDP의 하부 유리기관의 웨이브니스(waveness)를 추종하며 PDP 격벽은 이형시 미소한 흔들림에도 격벽의 갈라짐을 일으킬수 있으므로 몰드는 연성이 있어야 하고 격벽을 경화시키는 열원으로 전자기파를 사용하기 위해 통상 Rapid Tooling 기술 중 Silicone RTV(Room Temperature Vulcanizing) Rubber를 선정하였다. RTV란 Room temperature Vulcanizing의 약칭으로서 적당한 반응기(주재)를 도입하고 촉매(경화제)를 사용함으로써 실온 경화시키는 것으로써 대개의 경우 2액 부가 반응형이 주류를 이룬다. 상온에서 주재와 촉매를 배합함으로써 가열을 할 필요가 없고 비교적 간단하게 성형이 된다. 폴리에스테르수지나 에폭시수지도 동일하게 경화할 수 있지만 발열이 일어나므로 약간의 변형을 고려해야 한다. 하지만 RTV는 반응시 발열을 하지 않으므로 변형이 거의 없는 특성이 있다. 또한 고무표면에서는 화합물(메틸기)의 분자인력이 작고 표면장력이 낮기 때문에 이형성이 우수하고 탄력성이 뛰어나므로 역구배가 있는 형상이라도 자유로이 작업이 가능한 특성이 있다. 부가적으로 내한성, 내후성, 내약품성, 내유성이 상당히 우수하다. 실리콘 러버는 경화 후 수축율이 통상 0.1%로써 미세홈의 형상을

전사시키는데 적합하며 유기적인 특성인 고무탄성과 섭씨 $-70 \sim 200^\circ\text{C}$ 의 넓은 온도 범위에서 유지되고, 전기적 성질 및 내후성 등이 우수한 무기 재료적 성질을 가지고 있다.

2.2.1 UV투과용 실리콘 고무

UV투과용 Silicone Rubber는 일반적인 RTV 실리콘 특성과 대동소이하지만 UV가 투과해야하므로 투명한 특성이 있다. 많은 종류의 RTV실리콘이 존재하지만 본 연구에서 사용한 실리콘은 Shinetsu(Japan)사의 KE-1606로써 기본적인 물성치는 Table 2와 같다. FT-IR 장비를 이용해 실리콘 러버 몰드의 적외선 투과율을 측정하였다. Fig. 8에서 볼수 있듯이 실리콘 러버 몰드의 적외선 영역중에서는 $3700 \sim 4500\text{nm}$ 사이에서 투과율이 거의 100%임을 알 수 있었고 Fig. 9는 UV Spectrometer를 이용해 UV영역에서는 365nm에서 투과율이 높은 것으로 나타났다.

Table 2 Property of UV transmissive Si Rubber

	주재(Base)	경화제(Catalyst)
색상	투명	투명
점도(25℃,cP)	500	-
배합비	10	1
작업가능시간(25℃, min)	120	
표준경화시간	25℃/24시간, 60℃/2시간	

우선 실리콘 러버 몰드를 제작하기 위해 경질재료의 몰드(Hard Mold)의 홈가공을 하게 된다. 격벽의 간격 폭에 해당하는 홈가공(Fig. 10(a))을 수행하고 이렇게 제작된 마스터 모델을 이용하여 실리콘 러버몰드(Fig.10(b))를 제작한다. 실리콘 러버몰드 제작은 90%액상의 실리콘 러버에 10%경화제를 골고루 섞고, 진공 주형기를 사용하여 76cmHg의 진공압력 하에서 5~10 분간 예비 탈포를 하여 진공으로 내부의 기포를 제거한 후, Hard 몰드 위에 주입 후, 10~30분 정도 본 탈포를 시행한 후, 열풍 건조로 내에서 60℃에서 2시간 정도 경화를 시킨다. 경화된 실리콘 러버 몰드를 탈형 시키면 마스터 모델이 음각형상으로 전사된 형을 얻을 수 있다. 이때 예비 탈포는 실리콘 러버와 경화제의 반응시 발생하는 수많은 기포로 인한 본 탈포시의 과

또한 기포 발생을 억제하기 위해 실리콘 러버 내부에 있는 기포를 미리 탈포하는 작업이다.

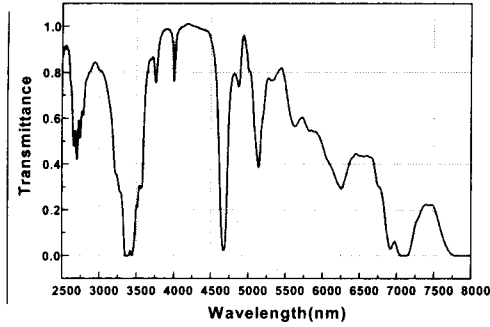


Fig. 8 FT-IR/Raman Spectrometer of UV transmissive Silicone Rubber

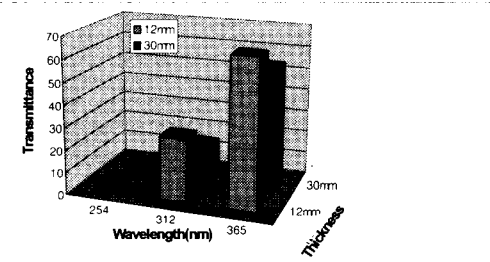


Fig. 9 UV Spectrometer of UV transmissive Silicone Rubber

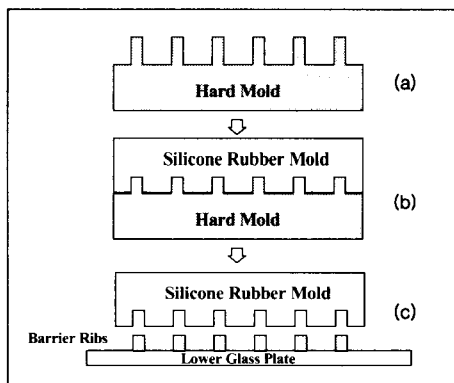


Fig. 10 Forming of Barrier Ribs by Silicone Rubber Mold

2.2.2 실리콘 고무의 형상전사성 평가

형상의 전사성에 대해서는 하드몰드로부터 실

리콘 러버 몰드로의 전사특성을 평가하기 위해 형상오차에 대한 비교 평가를 수행하였다. Fig. 11은 하드몰드의 형상과 전사된 실리콘 러버의 격벽의 폭, 길이, 그리고 격벽간의 간격에 대한 측정된 결과이다. 형상측정을 위해 Optical Dimensional Metrology Center를 사용하였다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 평균 깊이 치수 오차는 $-0.65\mu\text{m}$, 평균 폭 오차는 $-0.33\mu\text{m}$, 간격오차는 $+3.23\mu\text{m}$ 이다. 오차 수치 앞의 (+)부호는 러버의 수치가 실리콘 웨이퍼에 비하여 증가하는 것이며 (-)부호는 그 수치가 감소하는 것을 나타낸다. 실리콘 러버의 격벽의 폭과 깊이는 웨이퍼에 비해 감소함을 그리고 격벽 사이의 간격은 증가함을 알 수가 있었다. Fig. 12는 전사된 실리콘 러버 몰드의 SEM사진이다.

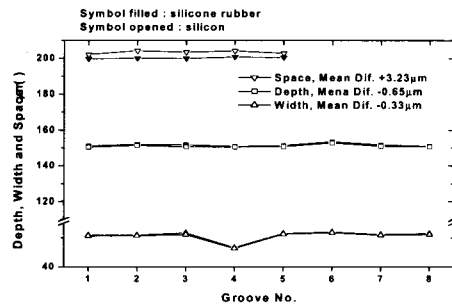


Fig. 11 Form transferability from Master pattern (Si wafer) to silicone rubber

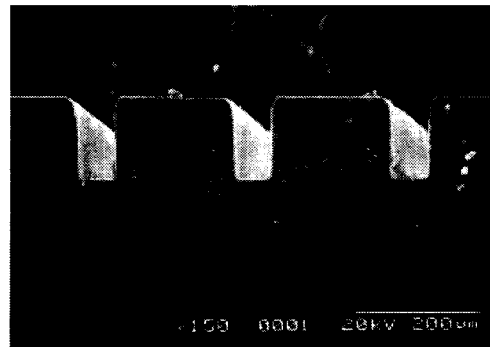


Fig. 12 SEM image of UV Transmissible Silicone Rubber

3. 전자기파를 이용한 격벽성형

본 논문에서는 격벽재료인 페이스트 경화를 위

해 전자기파중 Microwave와 IR(Infra-red) 그리고 UV(Ultra-Violet)로 실험하였다. 재래식 열원을 사용한 열처리법은 높은 제조 단가 및 장시간의 가열, 외부로부터 열전도 및 복사에 의한 제품의 부분적인 결정화 등의 문제점들을 유발하였다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 전자기파를 이용하였다.

우선 마이크로파는 파장이 센티미터 단위로 불리우는 전자파의 총칭이며, 일반적으로 1,000MHz(파장: 약 30cm)에서 30,000MHz(파장: 약1cm)까지의 전자파를 가리킨다. 그리고 자외선은 약 397~10nm에 이르는 파장으로 된 넓은 범위의 전자기파의 총칭으로서, 극단적으로 파장이 짧은 자외선은 X선과 거의 구별이 되지 않는다^[5]. 적외선은 가시광선이나 자외선에 비해 강한 열작용을 가지고 있는 것이 특징이며, 이 때문에 열선이라고도 한다.

3.1 실험장치 및 조건

Microwave 발생장치는 삼성전자(주)의 Model RE-S51M을 이용하였고 UV는 (주)세명백트론사의 Lamp Power 2Kw의 수은램프를 사용하였고 IR은 ORIEL사의 PhotoMax System을 이용하여 격벽성형 실험을 행하였다. 그 실험조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Experimental Conditions

Micro-wave	파장 : 11.5cm, 출력:500W, 주파수 : 2465MHz
UV	수은램프, Lamp Power: 2KW
IR	IR source: 22W Ceramic

격벽 성형에 들어가기 전에 실험조건을 위하여 각각의 전자기파의 조사시간을 달리하면서 실험을 하였다. 격벽은 일정한 경화되지 않으면 무너짐을 Fig. 13에서 볼 수 있었다. 본 연구에서는 격벽재료는 Noritake사의 NP-7853을 이용하여 격벽 성형방법은 Fig. 14과 같이 홈 가공된 실리콘 러버 몰드에 글래스 페이스트를 도포하고 몰드 홈에 글래스 페이스트가 채워질 수 있도록 스퀴지(Squeegee)로 가압하면서 홈에 글래스 페이스트를 채운다. 그런 다음 스퀴지를 이용해 몰드 상부에 있는 글래스 페이스트를 제거한다. 그 후에 실리콘 러버 몰드를 유리판과 압착을 시킨 후 마이크로웨이브, 자외선, 적

외선으로 5~20분 정도 실리콘 러버 몰드 상면에 조사하여 글래스 페이스트를 경화시키고 몰드를 이형시킨다. Fig. 15는 제작된 격벽의 최종 형상의 SEM사진이다.

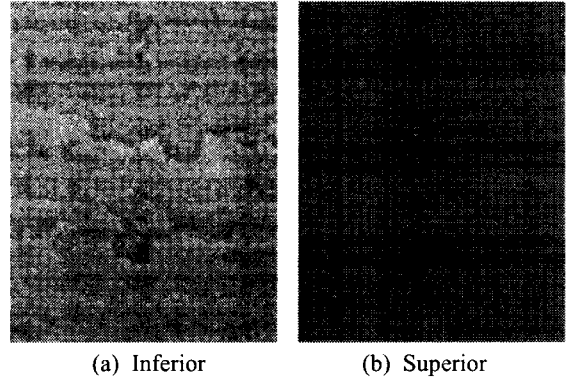


Fig. 13 The Optical micro-scope image of Barrier ribs

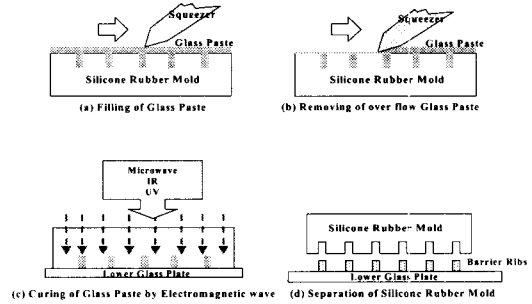


Fig. 14 Forming of Barrier Ribs by Silicone Rubber Mold

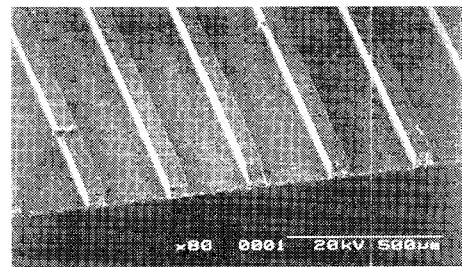


Fig. 15 SEM Image of Barrier Ribs

3.2 격벽 성형 평가

본 논문에서는 실리콘 러버 몰드에서 격벽으로의 전사특성을 평가하기 위해 실리콘 러버와 격벽

의 일정단면에서의 동일 단면에 대해 형상을 비교함으로써 그 단면의 전사성을 측정하였다. 홈 형상에 대하여 적외선으로 격벽을 성형하였을 때는 Fig.16에 나타낸 바와 같이 평균 깊이 오차는 $-9.33\mu\text{m}$, 평균 홈 폭 오차는 $-4.81\mu\text{m}$, 평균 격벽간의 간격 오차는 $+4.37\mu\text{m}$ 로 나타났다.

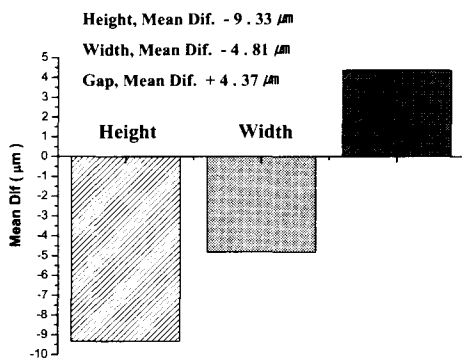


Fig. 16 Form transferability from silicone rubber to barrier(IR, 20min)

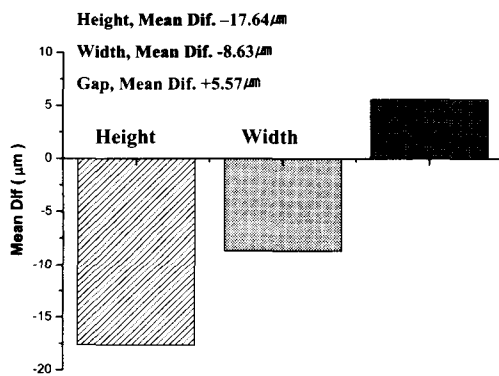


Fig. 17 Form transferability from silicone rubber to barrier (Microwave, 5min)

그리고 마이크로웨이브로 격벽을 성형하였을 경우에는 Fig. 17과 같이 평균 깊이 오차는 $-17.64\mu\text{m}$, 평균 홈 폭 오차는 $-8.63\mu\text{m}$, 평균 간격 오차는 $+5.57\mu\text{m}$

로 나타나며 마지막으로 자외선으로 격벽을 성형하였을 경우에는 Fig. 18에 나타낸 것과 같이 평균 깊이 오차는 $-22.91\mu\text{m}$, 평균 홈 폭 오차는 $-13.85\mu\text{m}$, 평균 간격 오차는 $+8.63\mu\text{m}$ 로 나타난다. 오차 수치앞의 (+) 부호는 격벽의 수치가 실리콘 러버에 비해 증가하는 것이며 (-) 부호는 그 수치가 감소하는 것이다. 격벽 성형시 폭과 깊이 오차의 모든 경우 모두 음의 값을 가지는 것으로 이것은 글래스 페이스트의 경화시 수축정도에 따른 것으로 보인다. 격벽간의 간격 오차는 모두 양의 값을 가지는 것으로 나타나는데 이것은 격벽의 폭과 깊이가 수축함으로써 각각 격벽간의 간격이 증가하는 것으로 판단된다. 또한 각각의 전자기파에 따른 오차가 크게 차이나는 것은 서로가 가진 에너지 차이로 인해 격벽 성형시 글래스 페이스트의 수축량 차이인 것으로 판단되며 적외선이 수축오차가 제일 작으며 자외선이 가장 큰 것으로 나타났다.

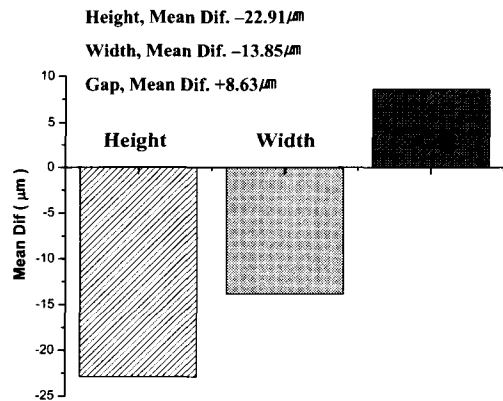


Fig. 18 Form transferability from silicone rubber to barrier (UV, 9min)

3.3 격벽성형시간평가

기존공정인 샌드블라스팅법이나 스크린프린팅법의 격벽 성형시간은 1~2시간정도 걸린다. 그렇지만 전자기파인 Microwave나 UV와 IR을 사용했을 경우는 5~20분 정도로 소요시간이 대폭 단축됨을 Fig 19에서 확인할 수 있다.

참고문헌

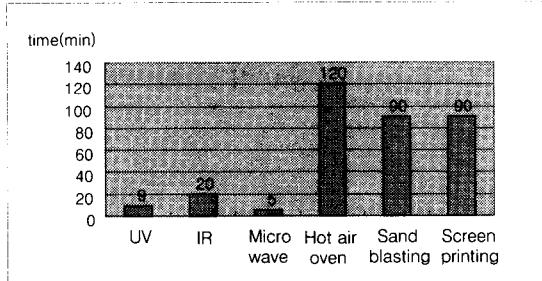


Fig. 19 Comparison of Barrier ribs fabrication Time

1. 이준신, "Display 기술 Roadmap 과 신기술동향," 한국정보디스플레이학회지, Vol. 1, No. 1, 2000.
2. 조인호, 정상철, 정해도, 손재혁, "PDP격벽 성형용 몰드제작과 성형에 대한 연구," 한국정밀공학회지, 제18권 제 5호 pp. 171~177, 2001.
3. T.MIWA, "Blade wear and wafer chipping in dicing process," ICPE, pp. 401, 1997.
4. A.J.Kinloch, "Adhesion and Adhesives science and technology," Chapman and Hall, 1987.
5. 대한전자공학회, "전과공학," pp. 283-297, 1998.

4. 결론

본 연구는 PDP 격벽성형기술에 대하여 기존 공정과 대별되는 새로운 격벽 성형기술적용에 관하여 아래의 결론을 고찰하였다.

1) 격벽 성형용 몰드제작을 목적으로 미세홀 가공에 대해 다이싱공정을 도입하여 마스터 패턴을 제작하고 PDP격벽 형성을 위해 표면 거칠기 및 형상에 대한 평가를 수행하였다.

2) 홀의 고품위면과 형상정도를 전사하고 전자기파의 투과율이 높은 연질의 탄성을 갖는 UV Transmissible Silicone Rubber를 적용시킴으로써 격벽 성형시 이형성 및 하부 기판의 웨이브니스 추중성을 부여하도록 하였다.

3) 전자기파를 이용해 글래스 페이스트의 건조시간을 기존의 1~2시간에서 5~20분으로 단축함으로써 격벽 성형시간을 대폭 감소시킬 수 있었다.

4) 격벽 성형시 전자기파의 종류에 따른 수축량의 차이만 있을 뿐 동일한 방향성을 가지므로 격벽 성형 설계시 충분히 고려가 될 수 있을 것이다.

이 기술을 통해 격벽을 성형한다면 저가 공정이 가능할 뿐만 아니라 쉽게 균일한 격벽성형이 가능해진다는 장점이 있기 때문에 양산 기술과의 접목을 통해 가장 경제적으로 격벽을 성형할 수 있을 것으로 보인다.