Journal of the Korean Ceramic Society
Vol. 37, No. 1, pp. 57~62 2000

CO_2 Laser Scribing법을 이용한 PDP용 격벽 제조

안정식 · 이석영 · 김원용 · 전형조 · 이용호 · 김용석
홍익대학교 금속, 재료공학과
(1999년 9월 3일 접수)

Fabrication of Barrier Ribs for PDP by CO_2 Laser Scribing Method

Jung-Sik Ahn, Seog-Young Lee, Won-Yong Kim, Hyung-Jo Jeon, Yong-Ho Lee and Yong-Seog Kim
Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, Hong-Ik University 72-1,sangsu-dong, Mapo-ku, Seoul, Korea
(Received September 3, 1999)

초 록

본 연구는 레이저 scribing법을 이용하여 PDP용 격벽 제조의 가능성을 조사하였다. Tape Casting법으로 제조된 Green Tape에 레이저를 조사하면 세라믹 분체와 결합하고 있는 바인더를 열분해하고 동시에 노즐을 통해 주입되는 quenching gas에 의해 결합력이 약해진 세라믹 분체를 배출함으로써 식각이 이루어진다. 이때 가해지는 레이저의 파장은 PMMA바인더에 흡수율이 높은 10.6 μm의 CO_2레이저를 사용하였으며 quenching gas의 압력, 마스크 형상 그리고, 레이저출력이 제조된 격벽의 깊이와 형상에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, an attempt was made to demonstrate the possibility of using laser scribing method in manufacturing the barrier ribs of plasma display panel. The scribing with a CO_2 laser was conducted on the green tape produced by the doctor blade tape casting method. Among the processing parameters, the quenching gas pressure, shape of mask, and laser power were found to affect the depth and angle of the scribed barrier ribs.

Key words : Barrier rib, Laser scribing, PDP, Green tape, Quenching gas

1. 서 론

PDP(Plasma Display Panel)소자는 상하의 유리기판 사이에서 He+Xe, 또는 Ne+Xe가스의 방전시 발생하는 진공자외선이 형광체를 여기시켜서 발생하는 가시광선을 이용하여 화상을 나타내는 기체 방전 표시 소자이다.[1] PDP 소자는 구조가 매우 간단하고 대형화가 용이한 특징을 지니고 있어 현재 벽걸이 TV, HDTV와 같은 표시소자분야로 많은 연구가 진행되고 있다.[2] 이와 같은 PDP 소자의 패널 구조를 모식적으로 나타낸 것이 Fig. 1이며, 격벽(barrier rib)은 PDP 표시 소자에서 플라스마 방전공간을 제공하고, 형광체의 도표면적을 제공하며, 화소간의 혼색을 방지하는 중요한 역할을 한다. 격벽의 높이는 120~170 μm, 폭은 50~80 μm정도의 형상을 가지는 것이 일반적인데, PDP의 해상도가 증가함에 따라서 그의 폭이 감소하고, 형상의 균일성의 향상이 요구되고 있다.

이와 같은 격벽의 제조 방법으로는 샌드블라스팅(Sand-blasting)법,[3,4] 스크린프린팅(Screen Printing)법,[5] 포토매입법(Photo-Additive), Fodel법[6]등이 이용되어 지고 있다. 이들 대부분의 공정들은 비연속적이고, 생산성이 낮으며, 제조 원가가 높기 때문에, 이들 공정을 대체할 수 있는 새로운 제조 공정의 개발이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 그린 테이프를 레이저로 가공하는 방법에 의한 격벽 형성 가능성을 조사하고자 하였다. 즉 격벽용 세라믹 분말을 포함하고 있는 폴리머 그린 테이프(green tape)에 레이저 빔을 조사하여 조사된 부분을 식각하여 격벽을 형성하는 방법이다.[7]

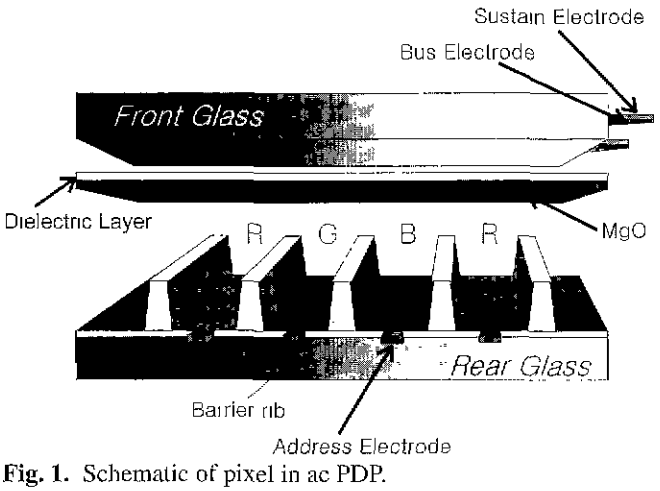

Fig. 1. Schematic of pixel in ac PDP.

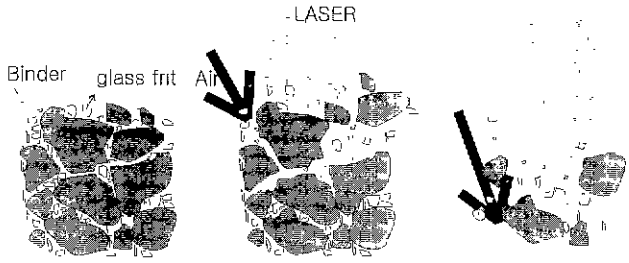

Fig. 2. Schematic of green tape scribing process by laser beam.

그린 테이프를 레이저로 식각할 때 발생하는 일반적인 현상을 모식적으로 나타내면 Fig. 2와 같다. 레이저 빔이 테이프에 조사되면, 폴리머 바인더가 레이저에 의하여 가열되어 기화되거나, 용융, 열화되어 첨가된 세라믹 분체가 바인더로부터 유리된다. 이렇게 유리된 세라믹 분체들은 레이저 빔과 같이 시편에 조사되는 quenching 가스에 의하여 식각면 밖으로 배출(blow-out)되어 격벽이 형성되는 것이다. 이와 같은 식각 과정이 균일하게 발생하기 위해서는 레이저 빔의 강도가 균일하게 시료에 조사되어야 하며, 레이저 빔이 효과적으로 green tape에 첨가된 유기물을 분해시키는 역할을 하여야 할 것이다. 또한 quenching 가스는 결합력이 약화된 세라믹 분체들을 격벽 밖으로 효과적으로 배출시켜야 한다. 따라서 본 연구에서는 레이저 조사시의 공정 변수, 즉 입열량, 조사 속도, 가스의 압력등이 식각된 격벽의 형상에 미치는 영향을 평가하여, 본 제조 방법이 격벽 제조에 적용될 수 있는 가능성을 평가하고자 하였다. 이때 레이저에 의하여 식각된 green tape의 형상특성은 Fig. 3과 같이 평가된다. 즉 레이저 빔에 의하여 식각된 깊이와 식각된 각도를 평가하는데, 깊이는 green tape의 두께 대비 값으로 평가하게 된다.

2. 실험방법

상용화되어 있는 PDP 격벽은 Al_2O_3등과 같은 산화물계의 세라믹 상과 저온용 유리질로 구성되어 있다. 따라서 본 실험에서는 실험실에서 제조한 75%PbO-25%SiO_2 조성의 glass frit을 사용하였는데, 이것의 평균 입도는 약 1.8 μm이었다. 알루미나 분말은 99.8% 순도를 가진 것으로 평균 입도는 1.5 μm이었다. Glass frit과 알루미나 분말을 포함한 그린 테이프는 doctor blade를 이용한 tape casting machine을 이용하여 제조하였다. Tape casting용 slurry의 바인더로서는 아크릴계(PMMA) 바인더를 사용하였다. 바인더는 첨가된 세라믹 분체들을 상호 접합시켜, tape casting후 얻어진 그린 테이프의 강도를 부여하는 역할을 한다. 한편 첨가된 세라믹 분체들은 slurry내에서 분산이 잘 이루어져 균일하게 혼합되어야 하는데.[8] 이를 위해 분산제로 poly ester를 첨가하였다. 용매는 건조 과정에서 크랙이 생성되지 않도록 적절한 증발속도를 가져야 하며 본 실험에서는 tape casting시에

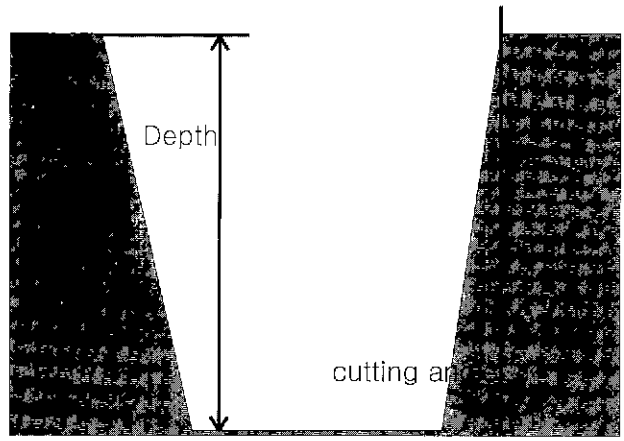

Fig. 3. Estimation characteristic of scribed green tape by laser beam

일반적으로 사용되는 toluene과 MEK(methyl ethyl ketone)을 용매로 사용하였다. 또한 그린 테이프에 유연성을 부가하여 가공 및 핸들링이 용이하도록 가소성을 부여해야 하며[9] 이를 위해 본 실험에서는 DBP(di-butyl phthalate)를 가소제로 사용하였다. 이와 같은 각종 첨가제의 혼합을 위해 ball mill을 이용하여 tape casting용 slurry를 제조하였다. 이러한 slurry의 조성은 Table 1에 나타내었다.

Green Tape는 Fig. 4에 나타낸 것과 같은 doctor blade를 이용하는 tape casting 장치를 사용하여 제조하였다. 먼저 slurry를 저장통(reservoir)에 장입하고, carrier film을 일정 속도로 이송하여, carrier film상에 slurry를 일정 두께로 casting하는 방법이다. Casting된 slurry는 대기 중에 24시간 유지하여 건조 과정을 거치는데 green tape의 두께가 두꺼울 경우 분산된 powder들이 아래로 가라앉아 균일한 tape를 얻기 어렵다. 따라서 본 실험에서는 120 μm 두께로 건조된 green tape를 적절한 크기로 절단한 후, 이를 겹쳐서 80°C에서 25

Table 1. Composition of Slurry Using Tape Casting

Function	Materials	Parts by weight
Ceramic powder	Glass frit, Alumina	100
Binder	PMMA	8
Solvent	Toluene, Methyl Ethyl Ketone	30
Plasticizer	di-butyl phthalate	6
Dispersant	polyester	2

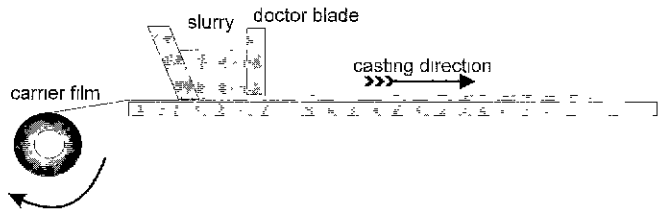

Fig. 4. Schematic of tape casting machine.

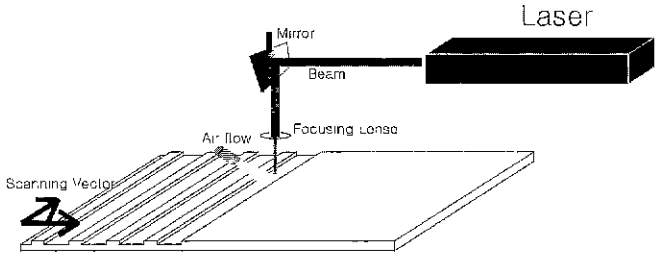

Fig. 5. Schematic of laser scribing device.

kgf/cm로 10분간 열간 lamination 하여 200 μm 두께로 유리판 위에 적층하였다.

일정 두께로 적층된 green tape은 CO_2 레이저를 이용하여 적절한 폭으로 식각하여 격벽을 성형하고자 하였다. 본 연구에서 사용한 레이저 식각 장치의 모식도는 Fig. 5와 같다. 즉 defocusing된 CO_2 레이저(최대 출력 : 65 W, 원다 레이저, 한국)의 조사부에 금속 마스크를 위치시켜, 식각하고자 하는 면은 노출시키고, 격벽으로 잔류시키고자 하는 면은 레이저 빔을 차단하는 방법을 채택하였다. 이때 레이저 빔의 위치는 고정하고, PDP 배면 유리 기판상에 부착된 그린 테이프를 일정 속도로 이송하여 식각하는 작업을 수행하였다. 이때 레이저 파워, 주사 속도, quenching gas의 압력, 성분 등을 변화시켜 식각의 깊이와 식각면의 형상에 미치는 영향을 관찰하였다.[10,11]

3. 결과 및 고찰

3.1. 레이저 빔의 파장이 격벽재료 식각에 미치는 영향

그린 테이프 식각에 적절한 레이저 파장을 결정하기 위해 FTIR (Fourier Transform Infrared) 분석을 수행한 결과 Fig. 6과 같이 10.6 μm에서 투과율이 23%로 다른 영역에 비해 상대적으로 높은 흡수율을 보인다. 이때 흡수된 에너지는 재료내부에 축적되어 고분자 결합제의 분자사슬을 끊는데 사용되어진다. 따라서 우수한 식각 특성을 나타내는 10.6 μm

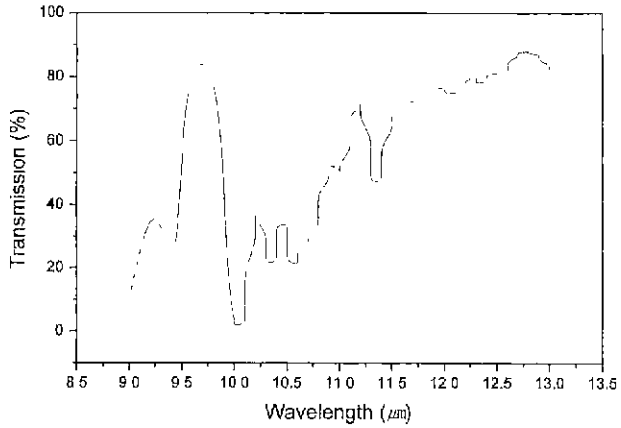

Fig. 6. Infrared transmission spectra for PMMA with thickness of 30 μm.

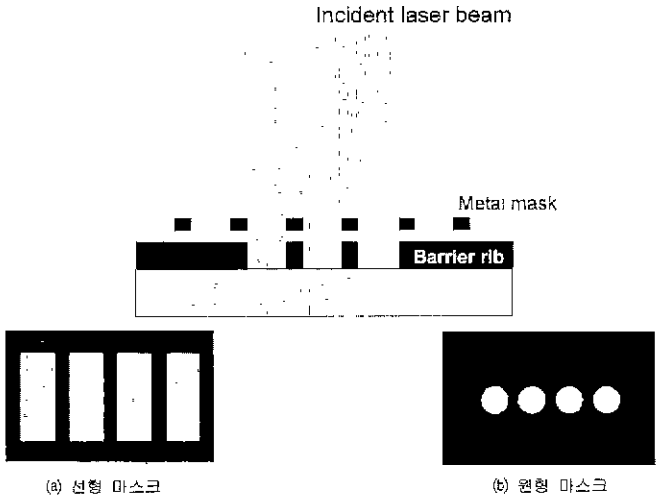

Fig. 7. Schematic of mask shape.

의 파장을 가지는 CO_2 레이저를 사용하였고 연속적인 식각 형태를 나타내는 연속모드를 사용하여 실험을 수행하였다.

3.2. 마스크의 형태에 따른 격벽 형상의 영향

그린 테이프에 조사되는 레이저 빔을 부분적으로 차단하여 격벽을 형성시키기 위하여 금속 마스크가 사용되는데, Fig. 7과 같은 원형 및 선형 마스크를 사용하였다. 본 실험에 사용한 원형 마스크는 미세드릴을 이용하여 250 μm 구멍을 150 μm간격으로 뚫은 Cu판을 사용하였고, 선형 마스크는 500 μm slit을 150 μm간격으로 Cu판을 에칭하여 사용하였는데, 좀더 미세하고 정밀한 마스크가 준비된다면 고정세한 격벽 성형이 가능할 것이라고 생각된다. Fig. 8은 이들 마스크를 이용하여 식각된 격벽의 형상을 나타낸 것으로 이때 사용된 레이저 파워(P)는 50 W, 그린 테이프 표면에 조사되는 빔의 반지름(Ws)은 16 mm, 시편의 이송 속도는 60 cm/min이었다. 그림에서 볼 수 있듯이, 원형 마스크에 비하여 선형마스크를 사용한 경우가 격벽이 비교적 균일하게 식각되는 것을 볼 수 있다. 이것은 선형 마스크를 통과하

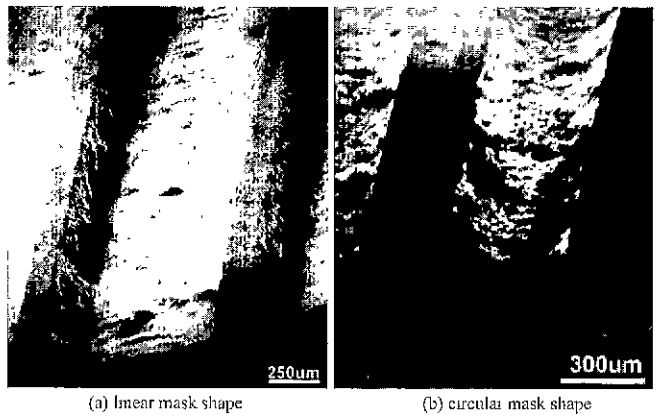

Fig. 8. SEM micrograph of the barrier ribs formed by mask shape.

는 레이저 빔이 상대적으로 균일하기 때문으로 생각된다. 즉 원형 마스크의 경우는 레이저에 의하여 조사되는 시간이 시편의 위치에 따라서 변화하는데에 비하여, 선형 마스크의 경우에는 동일한 시간동안 조사되기 때문에 균일하게 식각된다. 따라서 본 실험에서는 식각 특성이 우수한 선형마스크를 사용하여 실험을 실시하였다.

3.3. CO_2 레이저의 입열량이 식각 특성에 미치는 영향

레이저빔을 그린 테이프에 조사시 레이저의 Input power를 증가시키면 다음식과 같이 에너지의 세기는 증가한다.

$$I = \frac{2P}{\pi W_s^2}$$

이때, I는 레이저빔의 세기 (W/cm^2)

P는 레이저의 power (W)

Ws는 빔의 조사부 반지름 (cm) 이다.

따라서 레이저 발진 power가 증가하면 단위 면적당의 격벽재료에 흡수되는 에너지는 증가하고 이 에너지는 결합제의 분자사슬을 끊는데 사용된다.

또한 시편에 Input 되는 에너지 보다 Output되는 에너지가 적을 경우 그 차만큼의 에너지가 재료내부에 축적되어 더욱 식각이 용이하다. 즉 이송속도가 증가하면 국부적 에너지 Input이 곤란하고 에너지 분산에 의해 식각의 깊이는 낮아진다.

따라서 본 실험에서는 레이저의 발진 power와 시편의 이송 속도를 각각 변화시켜, 이들이 그린 테이프의 식각 특성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

Fig. 9에 그린 테이프 표면에 조사되는 빔의 반지름(Ws)은 16 mm, 시편의 이송속도는 80 cm/min. quenching 가스압력은 2.5기압으로 하고 레이저의 Input power를 증가시킴에 따라서 식각 깊이 및 각도에 미치는 영향을 나타내었다. Fig. 9에서 보면, 레이저 power가 증가함에 따라 Input 에너지가 증가하여 식각 깊이는 비례적으로 증가하다 40 W 정도에서 격벽재료가 모두 식각되고 나면 노출된 유리기판을 식각할 만한 에너지는 안되므로 [식각깊이/tape두께]는 1에서 포화되고, 단면각도도 Output 에너지보다 Input 에너지가 많아져서 열집중에 의해 거의 90도까지 증가한다.

레이저 출력(P)은 55 W로 고정하고, 그린 테이프 표면에 조사되는 빔의 반지름(Ws)은 16 mm, quenching 가스의 압력은 2.5기압으로 유지하면서 시편의 이송 속도가 그린 테이프의 식각에 미치는 영향을 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이, 시편의 이송 속도가 증가함에 따라 식각 각도가 감소하는 것이 관찰되었다. 이것은 이송 속도가 증가하면 Input 에너지가 격벽재료 내부에 축적되어 결합제를 분해하기 전에 에너지가 분산되어 식각이 용이하지 못한 것으로 생각된다. 즉 레이저빔을 그린 테이프에 조사하면, Fig. 11에서와 같이 시편은 축적된 Input 에너지에 의하여

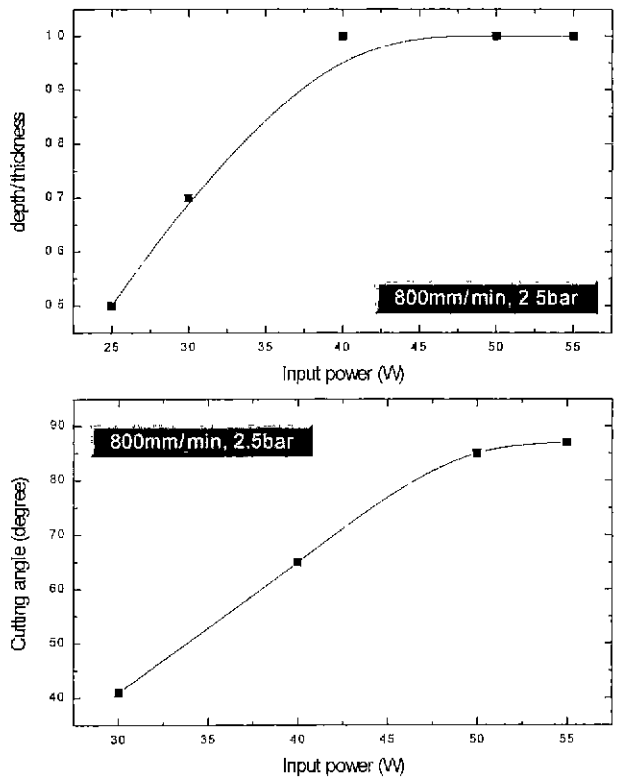

Fig. 9. Effect of the laser input power on the cutting depth and angle of the barrier ribs.

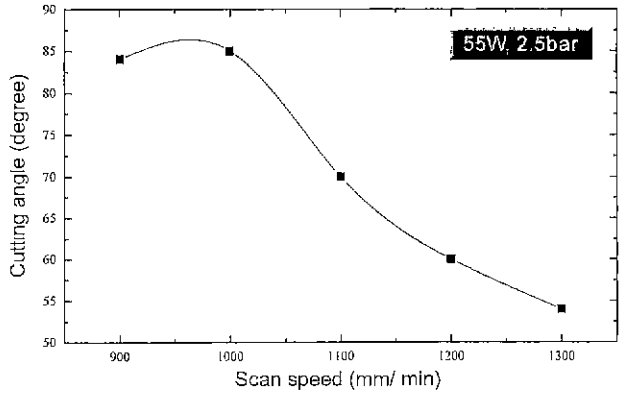

Fig. 10. Effect of the scan speed on the cutting angle of the barrier rib.

직접 가열된 부분과 이 부분으로부터 전도된 열에 의하여 간접 가열된 열영향부로 구성된다. 사진에서 볼 수 있듯이, 표면 부위는 바인더가 거의 열분해되어, 첨가된 세라믹 분말들이 약하게 결합되어 있는 것을 볼 수 있고 표면에서 내부로 진행됨에 따라 바인더의 함량이 연속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 열영향을 받은 부분의 두께는 약 15 μm 정도로 측정되었으며 이송 속도의 감소에 따라 열영향을 받은 부위의 두께가 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 이송 속도가 감소함에 따라 열전달이 발생할 수 있는 시간이 증가하기 때문이다.

따라서 이와 같은 열영향부위의 두께를 감소시키고 식각

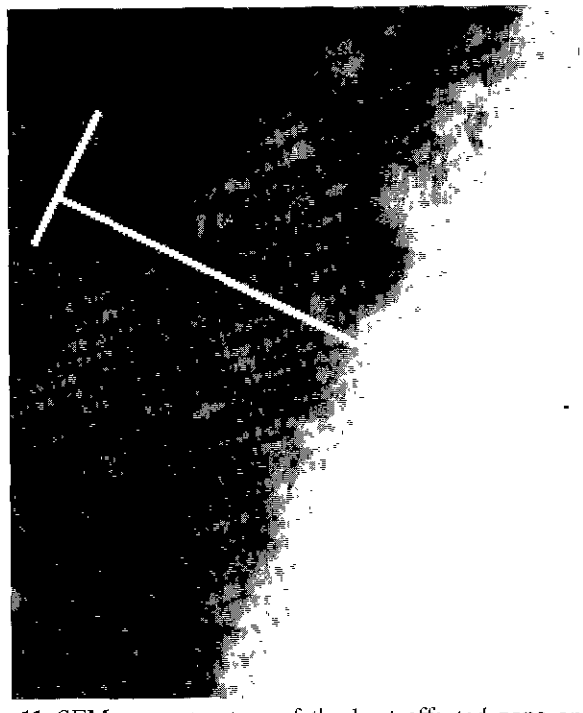

Fig. 11. SEM microstructure of the heat affected zone on the surface of the barrier rib.

의 깊이를 증가시키기 위해서는 시편의 이송 속도는 가능한 한 가장 빠르게하고 Input 에너지는 크게하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

3.4. Quenching gas가 식각 특성에 미치는 영향

Quenching gas의 압력이 식각 각도에 미치는 영향을 *Fig. 12*에 나타내었다. 이때 레이저의 출력(P)은 50 W로 고정시키고, 그린 테이프 표면에 조사되는 빔의 반지름(Ws)은 16 mm, 시편의 이송속도는 0.8 m/min의 조건에서 실험을 행하였다. 그림에서 볼 수 있듯이, 가스 압력이 증가함에 따라 식각 각도도 증가하는 것으로 관찰되었다. 이것은 가스 압력이 증가함에 따라서 바인더가 열분해된 부분의 세라믹 입자들이 식각부에서 효과적으로 제거되고, 이에 따라

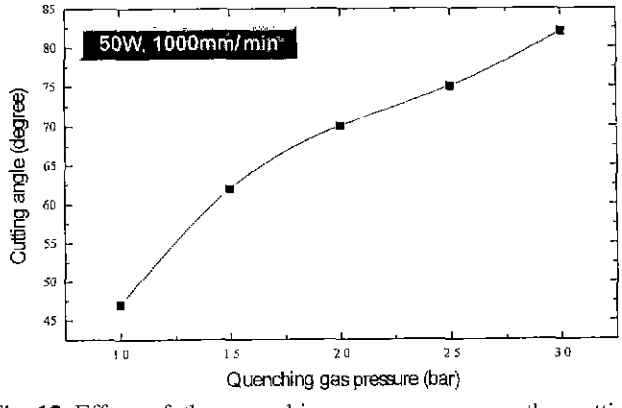

Fig. 12. Effect of the quenching gas pressure on the cutting angle of the barrier rib.

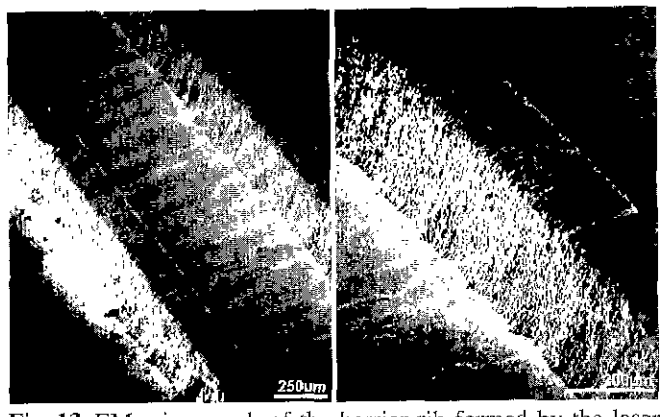

Fig. 13. EM micrograph of the barrier rib formed by the laser scribing method.

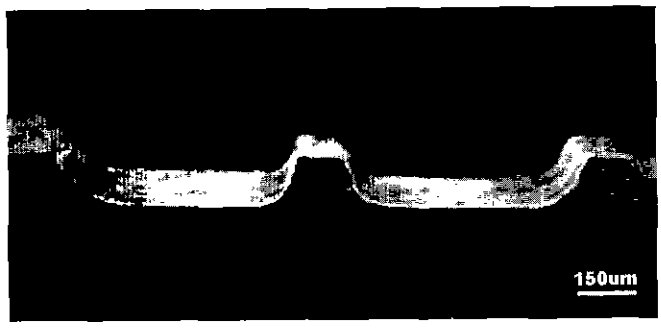

Fig. 14. SEM morphology of the barrier ribs after sintering.

서 식각 각도가 증가하는 것으로 생각된다. 따라서 효과적인 식각을 위해서는 quenching gas의 압력을 증가시키는 것이 바람직하나 quenching gas의 압력을 3기압이상으로 유지할 경우에는 격벽이 파손되는 현상이 관찰되었다.

Fig. 13은 레이저 식각 조건을 변화시켜서 적정 식각조건에서 얻어진 시편의 평면 사진이다. 그림에서 볼 수 있듯이 격벽의 단면이 매우 균일하게 식각된 것을 볼 수 있다. 이렇게 하여 얻어진 격벽을 유기첨가제가 열분해되어 제거될 수 있도록 470°C에서 1시간 유지 시킨후에 500°C에서 다시 1시간 유지하여 glass frit의 소결을 하였다. Fig. 14는 이렇게 얻어진 시편의 단면 사진으로서 소결 후에도 원래의 형태와 비교하여 크게 변화되지 않는 것을 관찰 할 수 있다.

4. 결 론

레이저빔 조사에 의한 격벽재료의 식각 경우 마스크의 특성이 격벽의 형상에 많은 영향을 미치는 것으로 확인되었는데, 선형 마스크를 사용하였을 경우 조사면에 균일한 에너지 전달로 우수한 식각 형상이 얻어졌다.

PMMA 바인더의 경우 10.6 μm의 파장을 가지는 CO_2레이저가 에너지 흡수율이 우수하여 대용량 입열이 가능하며, 단위 면적당의 입열량이 증가할수록 식각의 깊이와 각도는 증가하는 것으로 나타났다. 시편의 이송속도는 감소하고 quen-

ching gas 압력은 증가할수록 식각 깊이와 형상면에서 우수한 식각 특성을 나타내는 것으로 관찰되었다.

레이저 식각법으로 성형한 격벽재료는 소결한 후에도 형상의 변화가 없이 안정적인 소결 조직을 보여주고 있으며, 따라서 그린 테이프를 레이저로 식각하고 소결함으로써 단순하고 균일한 새로운 격벽 형성 공정의 가능성을 확인하였다.

본 실험에서 사용한 레이저 출력은 65 W로 매우 작은 용량이고 마스크의 slit 크기가 상용화된 pixel보다 크기는 하지만, 산업용 고출력 CO_2 레이저(20kW)를 써서 beam을 defocusing하여 정밀한 크기의 여러 slit 사이로 투과 시킨다면 빠른 시간안에 넓은 면적의 격벽을 제조할수 있으므로 생상능력과 효율을 높일 수 있다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 차세대 평판 표시 장치 기반 기술 개발 사업비(G7) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCE

1. 이윤관, 강춘식, 류지광, 류병길, 안동훈 "PDP 소자용 유전체후막을 위한 GLASS-CERAMICS 재료의 특성에 관한 연구", 대한 금속 학회지 36(10) 1692-1701 (1998).
2. Alan Sobel, "Plasma Displays," IEEE *Transactions on Plasma Science*, 19(6), 1032-1047 (1991)
3. H. Fujii, H. Tanabe, H. Ishiga, M. Harayama and M. Oka, "A Sandblasting Process for Fabrication of Color PDP Phosphor Screens," *SID Int. Symp. Boston*, vol.23 728-731 (1992).
4. Y. Terao, R. Masuda, I. Kolwa, N. Higemoto, H. Sawal and T. Kanamori, "Fabrication on Fine Barrier Ribs for Color Plasma Display Panels by Sandblasting", *SID Int. Symp, Boston*. vol.23 724-727 (1992).
5. M. Hiroshima, S. Sakamoto and K. Kato, "New Equipment for Manufacturing Large Sized PDPs," DISPLAYWORKS 1997, Display Manufacturing Technology Conference, Digest of Technical Papers pp.13-16 (1997).
6. D. I. Amey and S. J. Horowitz, DuPont Electronic Materials, Stephen Sekel, Tektronics, Inc., and Jeff Powell and Brian Durwood, Maxtek Components Corp., "Beyond the 1 GHz Barrier with Thick-Film Ceramic," *Microwave Journal*, pp.122-132 (1997).
7. P. Crosby and W. Shiner, "Improving Performance of Ceramic Scribing", *Am Ceram. Soc. Bull*, 71(11), 1631-1637 (1992).
8. R. Moreno, "The Role of Slip Additives in Tape Casting Technology : Part I-Solvents and Dispersants," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 71(10), 1521-1531 (1992).
9. R. Moreno, "The Role of Slip Additives in Tape Casting Technology : Part II-Binders and Plasticizers." *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 71(11), 1847-1657 (1992).
10. B. S. Yilbas, R Davies and Z. Yilbas, "Study into the Measurement and Predication of Penetration Prime during the CO_2 Laser Cutting Process," Proceedings of the Inst. of Mech. Eng., *J. of Eng. Manu.*, **B**(204), 105-113 (1990).
11. J. B. Hroux, S. Boughaba, I. Ressejac, E. Sacher and M. Meunier, "CO_2 laser-assisted removal of submicron particles from solid surface," *J. Appl. Phys.* 79(6), 2857-2862 (1996).