

## 광 PCB용 저가형 광도파로 공정 연구

### (Fabrication of low-cost optical waveguide for an optical PCB)

류진화, 정명영, 최두선\*

부산대학교 나노기술학과, \*한국기계연구원

[gas96@pusan.ac.kr](mailto:gas96@pusan.ac.kr)

지식 정보화 사회의 고도화에 따라 정보 전송량에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으며, 이에 따른 전송 용량의 수요를 충족시키기 위한 수단으로 광도파로가 포함된 인쇄회로기판인 광 PCB가 대두하고 있다. 이러한 광 PCB에서 가장 중요한 부분은 저가적으로 광도파로를 제작할 수 있는 제작 공정의 개발이라고 할 수 있다. 현재 사용되고 있는 광도파로의 제조 방법은 포토리소그래피, 엠보싱 기법 등이 대표적이다. 포토리소그래피 공정은 광도파로 소재를 스핀코팅 및 사진식각 등을 이용하기 때문에 공정이 복잡하고 반복적이어서 장시간이 소요되어 생산성이 낮은 문제점을 가지고 있다. 또한, 엠보싱 공정은 금형의 구조물을 풀리며 층에 직접 전사시키는 공정으로 미세 구조물의 대량 복제가 가능하지만, 패턴이 형성된 금형을 요구하게 되는데, 이러한 금형의 재료로는 현재 실리콘(Silicon), 니켈(Nickel) 그리고 석영(Quartz)등이 주로 사용되고 있다. 이러한 금형은 복잡한 제조공정, 기하학적인 설계 제약과 비용 때문에 한계를 나타내었고, 그 해결책으로 고분자 복제(Replication) 기술에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>(1),(2),(3)</sup> 엠보싱 공정에서 기존에 사용되던 금형을 고분자 금형으로 대체하기 위해서는 고분자 금형이 엠보싱 공정에서 요구되는 기계적 강도, 온도 안정성, 광학적 성질 등의 요구 조건에 적합하여야 한다. 이런 금형의 요구 조건에 부합되는 대표적인 고분자로는 높은 열적, 기계적 안정성을 가지고 있는 에폭시 수지가 있다. 본 연구에서는 기존 금형의 형상을 복제하기 위한 중간 과정으로 탄성체 고분자인 PDMS 금형으로 복제 후 에폭시 금형을 제작함으로써, 기존 금형의 수명 시간에 대한 문제를 해결하여 광도파로를 저가적으로 구현하기 위한 시도를 행하였다.

먼저 PDMS(DOW Corning, Sylgard 184)를 가지고 유연한 탄성체 금형을 제작하였고, 이때 주체와 경화제의 혼합비율은 10:1로 하여 진공상태에서 1차적으로 30분간 기포를 제거하였다. 기포가 제거된 혼합액을 원형 금형(Si mold) 위에 붓고 다시 진공상태에서 2차적으로 용액 내에 존재하는 미세 기포를 제거한 후에 Hot plate 위에서 90°C로 30분간 경화시킨 것이다. 경화된 PDMS 금형은 낮은 표면에너지(22-24 dyn/cm)와 탄성체의 성질로 인하여 원형 금형으로부터 쉽게 분리할 수 있었다. 그리고 에폭시 금형의 제작은 주체인 아크릴레이트기가 있는 에폭시(SK UCB Inc.)와 광 개시제(Ciba Inc. Irgacure 184, Darocur TPO)를 사용하여 제작하였고, 에폭시 혼합액은 70°C에서 90분간 혼합 후 진공상태에서 60분간 기포를 제거한 다음 제작된 형틀에 부어지게 하였다. 그리고 PDMS 금형은 에폭시 수지와 한 점에서부터 접촉시켜 모든 면까지 접촉이 이루어지게 하였다. 그리고 에폭시의 경화공정 중에 발생하는 휨 현상을 방지하기 위하여 유리기판과 형틀을 고정 시켰고, 자외선(365nm, 100mW/cm<sup>2</sup>)은 유리기판을 통과 시켜 7분간 에폭시에 노출시켜 경화시켰다. 경화공정이 끝난 후에는 PDMS의 낮은 표면에너지에 의하여 에폭시로부터 쉽게 분리할 수 있다. 에폭시 금형은 전기로를 이용하여 200°C에서 15분간 가열공정을 거침으로서, 완전하게 경화시켰다.

Table 1은 에폭시 금형의 경도 측정 결과로서, 열처리에 의하여 경도가 높아져서, 금형으로의 활용에 유리함을 알 수 있다. Fig. 1은 제작된 에폭시 금형 및 치수 변화량을 나타내었으며, 치수 변화가 광

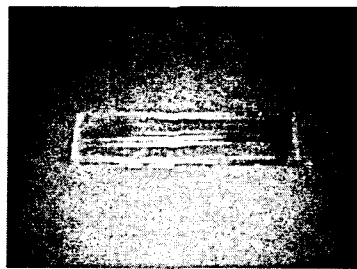
PCB용의 광도파로로서 사용 가능함을 알 수 있다. 광도파로 구조가 형성되는 Under-clad 층을 제작하기 위해 Hot embossing 공정을 사용하여 성형하였으며, 엠보싱 온도는 PMMA의 Tg (유리전이온도)를 고려하여 140°C~150°C로 설정하였으며, 하중은 4000~5000N, de-embossing 온도는 90~100°C, 엠보싱 시간은 1~2분으로 공정조건을 최적화하였다. 실제 Hot embossing을 위한 유지 시간은 약 75sec로 매우 짧은 시간이었으며, 냉각시간도 de-embossing이 이루어지는 90°C까지 약 45초 정도 걸렸다.

본 연구에서 사용한 광도파로 코어 층진과 Under 및 Over-clad를 부착하는 방법은 양쪽 clad층 부착할 때 약 1~2 마이크로 두께의 Slab이 발생할 수 있으며, 이것은 직접적으로 광손실에 영향을 줄 수 있다. 그러므로 두께를 1 마이크로 이하로 최소화하여 발생할 수 있는 손실을 최소화하였다.

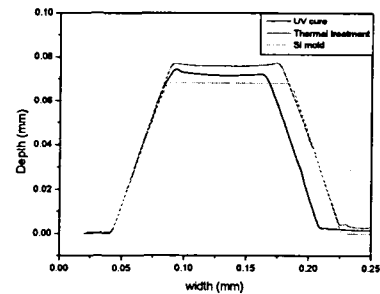
Fig. 2는 제작된 12채널 광도파로 및 850nm에서의 도파 손실을 나타낸 것이다. 광도파로 손실은 0.4 dB/cm로서 현 단계에서도 단거리용 광 PCB에의 적용은 가능할 것으로 전망된다. 본 연구는 저가격화를 위하여 에폭시 금형에 의한 광도파로 제작을 수행한 첫 번째 시도로서 향후 산업화 적용에 충분히 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

UV cure	95
UV cure + Thermal treatment	98
PMMA sheet	97

Table 1. 에폭시와 PMMA sheet의 경도 값 (Asker Inc, shore B).



(a)

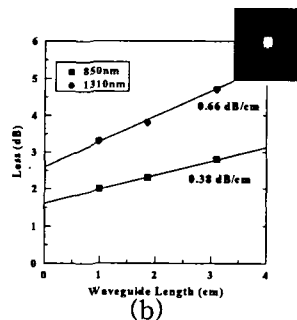


(b)

Fig. 1 (a) 제작된 에폭시 금형 (b) 원형 금형과 에폭시 금형 비교 치수 및 형상



(a)



(b)

Fig. 2 (a) 성형된 광도파로, (b) 광도파로 광손실

참고 문헌

1. H. Mizuno. et al, "Low-loss polymeric optical waveguides with large cores fabricated by hot embossing", OPTICS LETTERS 28, 2378-2380 (2003).
2. Yehai Yan. et al, "Rapid Replication of High Aspect Ratio Molds for UV Embossing", (2002).
3. Se-Jin Choi. et al, "An Ultraviolet-curable Mold for Sub-100-nm Lithography", JACS, (2004).

