

6sigma 기반 최적 설계를 이용한 마이크로 광소자 제작 연구 Micro Optical Device Fabrication Study Using Optimal Design based on Six-sigma Method

*오지인¹, #정명영¹, 이문재¹, 조천수²

*J. I. Oh¹, #M. Y. Jeong(myjeong@pusan.ac.kr)¹, M. J. Lee¹, C. S. Cho²
¹부산대학교 인지메카트로닉스공학과, ²부산대학교 지능기계시스템공학과

Key words : Optical device, WDM MMI Filter, NIL

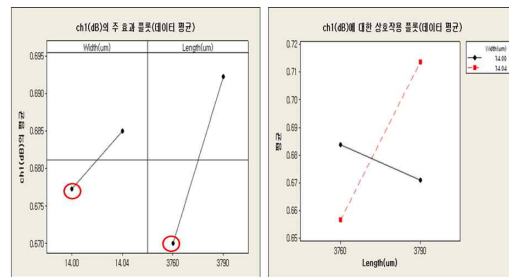
1. 서론

지식정보화 사회의 고도화에 따라 정보 전송량의 수요를 충족시키기 위하여 고집적화 및 광대역 소자 수요가 늘어나고 있다. 이러한 수요를 충족시키기 위하여 저가격, 고효율의 PLC(Planar Light Circuit) 소자 개발이 중요한 요소가 되고 있다. 기존의 PLC소자의 제작 공정들은 반도체 공정과 유사한 방법으로 공정이 복잡하고 반복적이며 장시간이 소요되어 낮은 생산성과 저가격화에 한계를 지닌다. 이러한 추세에 마이크로/나노 구조물의 제작 공정에 관한 연구가 현재 활발하게 진행되고 있으며, 그 중 저가격화의 관점에서 각광받고 있는 방법이 고분자를 이용한 소자 제작기술이다. 고분자를 이용한 고집적 소자의 제작 방법 중 최근 나노임프린트 리소그래피(Nanoimprint Lithography, NIL) 공정이 부각되고 있으며, 나노임프린트 리소그래피는 마이크로/나노 스케일의 구조를 갖는 금형을 제작하고, 제작된 금형을 이용하여 고분자에 한 번의 압인공정에 의하여 금형의 구조물을 복제하는 기법으로 단순한 공정, 짧은 공정시간, 그리고 낮은 생산 비용에 비하여 대량 생산이 가능하다.^{1,2,3}

본 연구에서는 광소자 중에서 광 네트워크시대 구현에 있어 핵심 부품인 WDM(Wavelength Division Multiplexing) MMI(Multi-Mode Interference) 필터 제작을 위하여, 소자의 멀티모드 구간의 폭과 길이를 설계변수로, 6 sigma 기법을 이용하여 최적 설계를 수행하였다. 이를 기반으로 thermal type의 나노임프린트 리소그래피 공정을 최적화하여 고분자를 기반으로 한 광소자 제작을 위한 연구를 수행하였다.

2. WDM MMI 필터 최적설계

WDM MMI 필터는 FTTH용 광송수신 소자로서 수동소자이며, 사용되는 광원의 파장은 up-stream, down-stream에서 각각 1310nm와 1550nm 대역을 사용한다. 각각의 파장은 필터 소자내에서 서로 반대 방향으로 진행하며 Crosstalk는 -40dB이하(광송수신 WDM 소자의 국제권고 규격)로 설계되어야 한다. 1310/1550nm 파장이 최적으로 분리되는 광소자를 설계하기 위한 변수로 멀티모드 구간의 폭과 길이 두 인자를 선정하였다. 각각의 변수에 대한 시뮬레이션 결과값을 입력하여 주효과 분석을 한 결과 소자의 멀티모드 구간의 길이가 폭보다 더 큰 효과를 가지는 인수임을 알 수 있었다. 또한 길이와 폭의 교호효과가 유의함을 확인하였다. Fig. 1(a)의 그래프는 주효과 분석을 한 결과로 소자의 길이가 폭보다 출력값에 미치는 영향이 크다는 것을 의미하며, Fig. 1(b)는 상호교호작용분석의 결과로 길이와 폭의 상호교호작용은 두 개의 선이 거의 직각에 가까운 형태를 나타내고 있으므로 상호간 아주 큰 유의차가 있음을 알 수 있다.



(a) Main effect analysis (b) Interaction plot

Fig. 1 6-sigma analysis

이와 같은 분석결과들을 토대로 조건들의 범위를 결정하여 반응표면(Response Surface, RS) 분석으로 최적의 조건을 찾아내어 시뮬레이션 수행하

였다. 그 결과 폭은 14 μ m, 다른 인자 조건인 길이는 3756 μ m일 때 특성 cross talk이 -51dB이하 최대가 되는 설계 조건임을 확인 할 수 있었다. Fig. 2는 반응표면분석 결과로 폭 14 μ m, 길이 3756 μ m일 때 최적의 설계 조건이 됨을 알 수 있다.

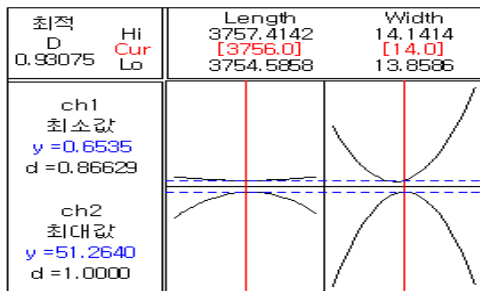


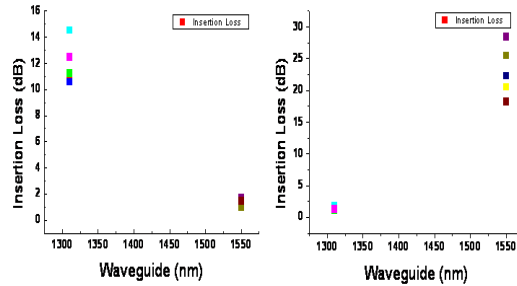
Fig. 2 Response Surface analysis

3. 임프린트 공정에 의한 소자 제작 및 측정

공차 해석을 위해 6sigma 기반으로 최적설계한 광소자 조건을 토대로 하여 도파로의 선폭을 10nm 씩 변화시키며 시뮬레이션 하였다. 그 결과 치수변화에 민감한 특성을 보이며, 소자의 특성 목표 기준인 Crosstalk \leq -40dB에 만족하는 공차는 $\pm 0.33\%$ 인 것을 알 수 있었다.

최적 설계된 광소자의 나노임프린트 기반의 고분자 소자를 제작하기 위한 금형의 제작은 사진공정과 식각 공정에 의한 반도체 공정으로 수행하였으며, 임프린트 성형 전 제작된 금형의 이형효과 향상을 위해 자체 제작된 vapor type SAM coating 장비로 챔버 온도 80 $^{\circ}$ C, 초기 진공도 10 $^{-3}$ torr, 이형층 형성 진공도 0.3torr의 공정 조건으로 SAM coating을 하여 표면 에너지를 낮추었으며, 이때의 표면 접촉각은 110 $^{\circ}$ 로 확인하였다. 표면 처리된 금형을 이용하여 임프린트 방식으로 Obducat사의 eitre[®]6 장비로 최적 공정 조건(성형온도:120 $^{\circ}$ C, 이형온도:100 $^{\circ}$ C, 압력:30bar, 시간: 60sec)으로 고분자 기반의 하부 클래드를 제작하였다. 하부 클래드에 형성된 패턴 내부에 UV curing core 레진을 충전하고 하부 클래드와 같은 재료의 상부 클래드를 적층한 후 UV를 이용하여 경화하였다. 패턴의 크기에 맞추어 제작한 소자를 절단하였으며, 광손실을 줄이기 위해 절단면을 polishing하여 소자의 광학적 특성인 삽입손실을 측정하였다. 입력에 대한 출력 감소분을 삽입손실이라 하며 $-10\log(\text{출력단 파워값}/\text{입력단 파워값})$ 으로 정의되어 계산할 수 있다.

측정된 출력단의 광 파워값을 위의 삽입손실을 구하는 식에 대입하여 계산한 결과 삽입손실은 Fig. 3(a)는 Ch1의 삽입손실을 나타낸 것으로 대부분 1550nm대역에서 출력됨을 의미하며, Fig. 3(b)는 Ch2의 삽입손실로서 1310nm대역에서 대부분 출력됨을 알 수 있다.



(a) Ch1 (b) Ch2

Fig. 3 Insertion Loss of The Wavelength

4. 결론

설계를 위해 6 sigma 기법을 이용하여 구한 광소자의 최적 조건은 소자의 폭과 길이가 각각 14 μ m, 3756 μ m로 설계되었다. 2D-BPM 시뮬레이션으로 공차해석을 한 결과로 나타난 공차범위 $\pm 0.33\%$ 의 치수정밀도로 공정을 최적화하여 소자를 제작하였다. 제작된 소자의 특성인 삽입손실은 Ch1의 1310nm, 1550nm대역에서 각각 11.93dB, 1.36dB 측정되었고, Ch2에서의 삽입손실은 1310nm, 1550nm대역 각각 1.39dB, 22.99dB로 측정되었다. 이러한 WDM MMI 필터 광소자는 집적 광학에서 기초가 되는 부분으로 분배비율을 조절하여 많은 응용 소자를 개발하여 제작하는데 유리할 것이다.

후기

본 논문은 중소기업기술개발지원사업의 일환으로 수행하였음.[S1065242]

참고문헌

1. Ryu, J.H., Kim, C. S. and Jeong, M. Y., "Dimensional Stability of an Imprinted Microoptic Waveguide," Journal of KSPE, 25, 100-106, 2008
2. Chou, S. Y., Keimel, C. and Gu, J., "Ultrafast and direct imprint of nanostructures in silicon," Nature, 417, 835-837, 2002