J. Microelectron. Packag. Soc., 22(3), 73-77 (2015)
Print ISSN 1226-9360 Online ISSN 2287-7525
http://dx.doi.org/10.6117/kmeps.2015.22.3.073

UV 임프린트 공정을 이용한 평판형 광도파로 기반의 집적형 분광 모듈 제작

오승훈[1] · 정명영[2] · 김환기[1] · 최현용[1,†]
[1]전자부품연구원
[2]부산대학교 인지메카트로닉스 공학과

Fabrication of Monolithic Spectrometer Module Based on Planar Optical Waveguide Platform using UV Imprint Lithography

Seung hun Oh[1], Myung yung Jeong[2], Hwan gi Kim[1] and Hyun young Choi[1,†]
[1]Korea Electronics Technology Institute (KETI), 226 Chemdandwagi-ro, Buk-gu Gwangju 500-480, Korea
[2]Department of Cogno-Mechatronics Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea
(Received September 17, 2015: Corrected September 24, 2015: Accepted September 25, 2015)

초 록: 본 논문에서는 저가로 쉽게 제작할 수 있는 구조를 지닌 단일칩 형태의 고분자 기반 평판형 분광모듈을 제안하였다. 제안된 분광모듈은 UV 임프린트 기법에 의해 제작되어진 비등간격 나노회절격자와 오목거울이 포함된 평판형 광도파로로 구성되어진다. 회절효율을 향상시키기 위해 나노회절격자의 구조는 25°의 블레이징 각도와 100㎚의 선폭을 가지도록 설계, 제작되었다. 평판형 분광모듈은 700 nm 대역폭과 10 nm 분해능을 가짐을 확인하였다. 이러한 집적형 고분자 분광모듈은 다양한 센서 시스템에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract: This paper presents integrated polymeric spectrometer module which offers compact size, easily-fabricated structure and low cost. The proposed spectrometer module includes the nano diffraction grating with non-uniform pitch and planar optical waveguide with concave mirror to be fabricated by UV imprint lithography. To increase the reflection efficiency, we designed the nano diffraction grating with triangular profiles. The polymeric planar spectrometer includes a spectral bandwidth of 700 nm, resolution of 10 nm and precision below 5 nm. This polymeric planar spectrometer is well-suited for sensor system.

Keywords: Spectrometer module, UV imprint lithography, Nano diffraction grating, Planar optical waveguide

1. 서 론

분광 분석 시스템은 바이오, 의료, 환경, 과일 당도 선별센서 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 비파괴 실시간 검사를 위한 핵심 기술이다.[1,2)]

분광 분석 시스템은 광원부, 분광 모듈부, PDA(Photo Diode Array), 광 프로브, 구동 회로부 그리고 광섬유 등의 광학기기들로 구성된다. 분광 신호 검출 절차는 흡수 영역대가 포함된 광원이 광 프로브를 통해 샘플에 전달되고, 샘플에 의해 투과, 반사된 광을 광 프로브를 통해 집광시킨다. 집광된 광은 분광 모듈을 통해 단색화 된 후, PDA로 입사되며 각각의 파장에 대한 흡광도를 계산하여 샘플의 물질 및 대기 오염도, 과일 당도 등을 선별할 수 있는 시스템이다.[3,4)]

이러한 분광 분석 시스템에서 분광모듈은 단색광을 만들기 위한 핵심 소자로, 주로 자유 공간상에서 나노회절격자와 오목거울, 광학렌즈, PDA 등의 광학 소자들이 배치, 구성되어지는 형태로 이루어지고 있다.[5,6)]

자유 공간상에서의 광학 부품의 조립 및 연결에 의한 분광모듈은 크기가 커져 소형화 시키는데 어려움이 있을 뿐만 아니라, 각각의 광학소자들이 매우 고가여서 저가격화에 한계를 지니고 있다. 또한, 분광 모듈내 광학 부품에 대한 광 정렬의 어려움이 있을 뿐만 아니라, 진동 및 충격에 의한 광 어긋남이 발생하여 신뢰성에 있어 문제점을 지니게 되므로 그 활용 범위가 제한적이다.

이에 따라, 평면 광학계 기반의 단일 칩 형태의 분광 분

†Corresponding author
E-mail: hychoi@keti.re.kr
© 2015, The Korean Microelectronics and Packaging Society
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

석 모듈의 개발이 최근 이루어지고 있다.[7,8]

단일칩 형태의 분광 모듈은 독일의 Beringler Ingelheim (microparts사)에 의해 개발이 이루어지고 있다. 이러한 분광 분석 시스템은 리가(LIGA) 공정기술에 의해 회절격자를 오목한 광도파로막의 단면에 가공한 후 회절 격자에 의해 분광된 광이 PDA에 수광되도록 하는 구조를 지닌다. 하지만, 이러한 분광기는 리가공정에 의해 광도파로의 단면에 회절격자가 가공되므로 치수 정밀도가 떨어질 뿐만 아니라, 리가공정에 의한 회절격자 패턴의 가공과 반도체 공정에 의한 광 도파로부 가공 등에 의해 제작이 이루어지므로 생산성이 낮아 매우 고가인 문제점을 지니고 있다. 또한, 광섬유와 평판형 광도파로간, 광도파로와 나노회절격자의 광 정렬이 쉽지 않은 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 비등간격의 나노회절격자와 오목거울이 포함된 평판형 광도파로 기반의 분광모듈을 상용프로그램인 파이선 프로그램을 통해 최적 설계하고, 이를 저가 대량 생산 공정에 적합한 UV 임프린트 공정[9,10]을 이용하여 고분자 기반의 집적화된 분광모듈을 구현하였다.

2. 평판형 광도파로 기반 분광모듈 구조 설계

Fig. 1은 제안된 평판형 광도파로 기반의 분광모듈의 전체적인 구조를 보여주며, 비등 간격의 나노회절격자와 오목거울과 광정렬용 가이드 패턴이 포함된 광도파로 형태로 이루어진다.

멀티모드 광섬유에서 평판형 광도파로로 입사된 광은 수직 방향으로는 내부 전반사에 의해 전파되고 수평방향으로는 퍼지면서 진행하게 된다. 이후, 진행된 광은 평판형 광도파로의 왼쪽 가장 자리 오목거울 반사막을 통하여 나노회절격자로 포커싱되어 입사되게 되며, 나노회절격자에 의해 각각의 파장으로 분리된 단색광들은 파장별 다른 포커싱 포인트를 갖게 되는 구조로 되어 있다.

분광모듈 내의 나노회절격자소자는 Fig. 2(a)와 같이 비등간격으로 설계되었으며, 총길이는 2.941 nm이며, 높이는 광 도파로부 코어층의 두께를 고려하여 800 nm로 설계되었다. 회절격자간의 피치는 최대 1.01 μm에서 최소 0.96 μm의 격자 간격을 가지며, 한쪽 가장자리 끝에서 중심부로 갈수록 격자 간격이 줄어들다가 반대쪽 가장자리로 가면서는 다시 격자 간격이 넓어지는 형태를 취하고 있다. 이는 오목 거울면에서 반사되어 모인 입사된 광을 파장에 따라 각각 다른 평행한 지점에 포커싱이 되도록 한다. 파장별 포커싱 포인트들은 회절격자로부터 약 25 mm 거리에 위치해 있으며, PDA의 결합을 용이하게 하기 위해서 회절격자와 평행하게 형성되도록 설계하였다. 설계된 근적외선 영역의 스펙트럼 대역폭의 양 끝단인 0.9 μm 파장과 1.7 μm 파장에서 포커싱 되는 지점 간의 거리는 Fig. 2(b)와 같이 약 13 mm 정도이며, 이 사이에 파장별로 각각 다른 위치에 포커싱이 이루어진다. 시뮬레이션 결과 10 nm의 파장 가변시 포커싱 위치는 평균적으로 약 200 μm 이동하는 것으로 나타났다. 따라서, PDA의 채널 간격이 50 μm인 광 검출기를 사용할 경우 파장분해능은 crosstalk와 선폭 등을 감안하더라도 10 nm의 파장분해능이 충분히 가능하게 설계되었다.

또한, 나노회절격자의 블레이징 각도와 선폭에 따른 회절효율 시뮬레이션을 통해 회절격자의 형상을 최적화하였다. Fig. 3은 블레이징 각도 및 선폭에 따른 회절효율 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 블레이징 각도가 25°에서 전 파장 영역에서 약 25% 이상의 효율을 가졌으며, 회절격자 선폭이 작을수록 효율이 높게 나타났다. 본 논문에서는 임프린트 공정 및 패키징 공정을 고려하여 100 nm의 선폭으로 디자인하였다.

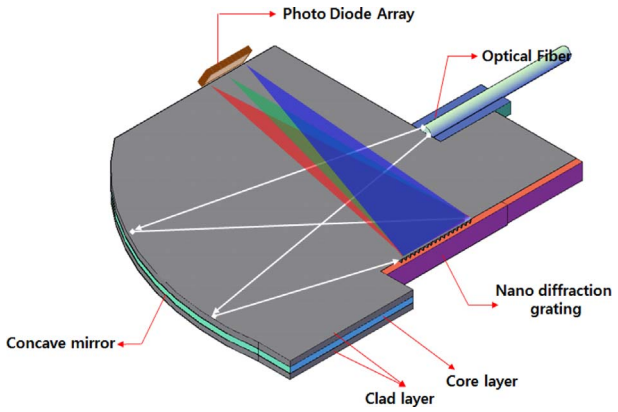


Fig. 1. Schematic view of integrated spectrometer based on planar optical waveguide platform.

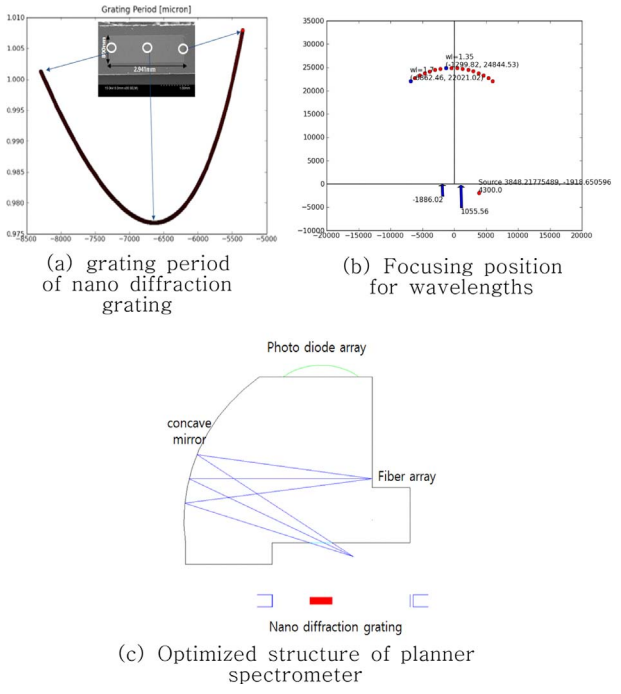
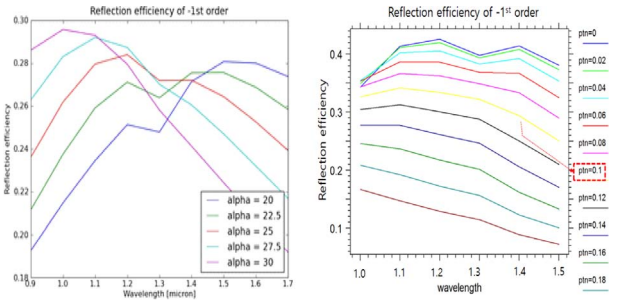


Fig. 2. Design of planner spectrometer.



(a) blazing angle (b) pattern width

Fig. 3. Reflection efficiency according to blazing angle and pattern width of nano diffraction grating.

3. UV 임프린트 공정에 의한 분광모듈 제작

평판형 광도파로 기반의 분광모듈은 Fig. 4와 같이 UV 임프린트 공정을 통해 나노회절격자와 광 도파로부를 제작한 후, 광도파로부의 오목거울면과 나노회절격자에 Au 반사막을 증착하고, 이를 광 정렬 가이드 패턴을 이용한 sliding joint 방식으로 패키징하여 제작하였다.

3.1. 고분자 나노회절격자 제작

분광모듈내의 나노회절격자는 Fig. 4와 같이 실리콘 원형 금형 제작, 복제주조 방식에 의한 PDMS 스탬프 제작, 이를 이용한 임프린트 공정에 의한 고분자 나노회절격자 성형을 통해 제작이 이루어진다.

우선, 블레이징 각도를 가지는 나노회절격자 스탬프를 제작하기 위해 Si(11x) oriented off wafer를 이용하였다. 실리콘 단결정을 이용한 격자패턴 형성은 전자빔 리소그래피 공정을 진행한 후, 습식식각을 이용하여 제작하였다. Si(100) 웨이퍼의 습식식각 특성상 (100)면과 (111)면 사이의 각도 54.74°의 대칭 경사면을 형성하는 V홈 구조를 가지고 있으나, Si(100)면과의 설계된 블레이징 각도(α=25°) 요소를 추가하여 Fig. 5(a)와 같은 준 3차원 비대칭 V홈 식각 프로파일을 형성하였다.

제작된 실리콘 원형 금형을 이용하여 초음파 진동에너지가 접목된 복제주조방식에 의한 PDMS 스탬프를 Fig. 5(b)와 같이 제작하였다. 사용된 PDMS용액은 Dow Corning사의 Sylgard™ 184를 사용하였으며, 전구체와 경화제가 무게비가 10:1의 일정 비율로 혼합시켜 충분히 안정화 시간을 거쳐 PDMS 용액을 안정화시켰고, 안정화된 PDMS 용액을 실리콘 원형 금형에 충분한 두께가 유지되도록 붓은 다음, 70°C의 오븐에서 열경화시켜 UV 임프린트용 스탬프를 제작하였다.

이후, 나노회절격자의 패턴이 각인된 PDMS 스탬프 위에 Micro resist사의 Ormocomp인 UV 경화성 수지를 떨어뜨리고, 초음파 진동 에너지를 이용하여 나노회절격자 패턴 사이로 충진시켰다. 질소분위기에서 110 mJ/cm^{2}의 UV 광으로 60초간 임프린트 공정을 수행하여 Fig. 5(c)와 같이 선폭이 99 nm, 피치가 약 1 μm인 25°의 블레이징 각도를 가지는 준 3차원의 고분자 나노회절격자를 설계 대비 1% 이하의 정밀도를 가지고 제작하였다.

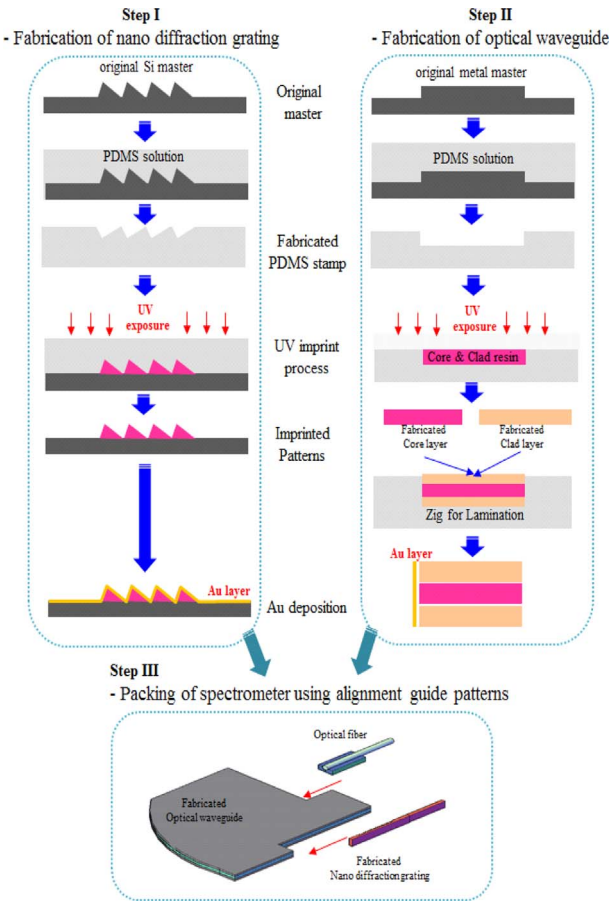
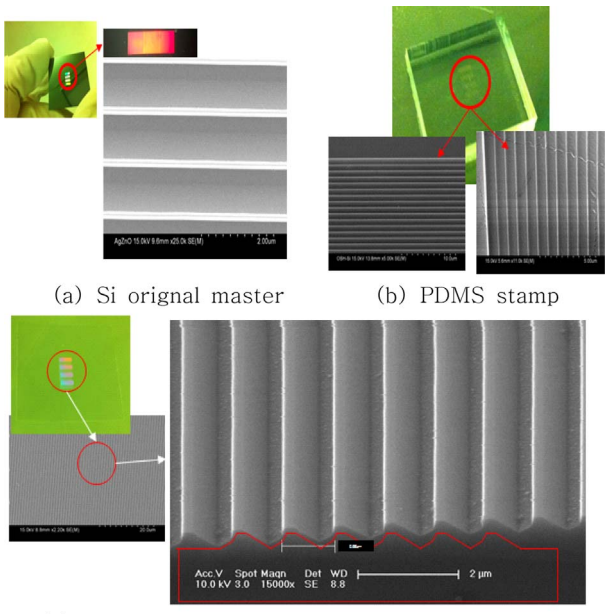


Fig. 4. Schematic view of fabrication process of polymeric spectrometer.



(a) Si orignal master (b) PDMS stamp

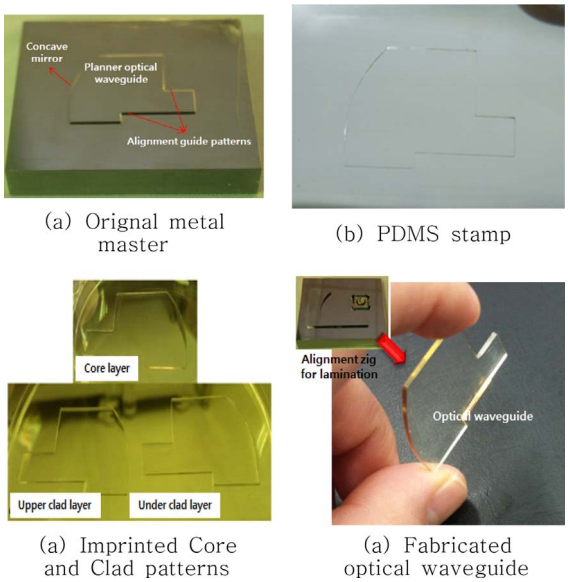
(c) Polymeric nano diffraction grating patterns

Fig. 5. SEM image of nano diffraction grating patterns, (a) Si original master, (b) PDMS stamp, (c) imprinted grating patterns.

3.2. 평판형 광 도파로부 제작

임프린트 공정을 이용한 평판형 광 도파로부를 제작하기 위한 원형금형은 기존의 건식식각 공정의 표면조도에 의한 산란 손실의 문제점을 보완하기 위해 초정밀 기계가공에 의해 제작되었다. 금속 원형 금형은 Fig. 6(a)와 같이 코어 및 클래드 층의 두께인 500 μm의 높이를 가지는 양각 형태로 이루어져 있다. 금속 원형 금형은 입사광이 전반사로 진행되기 위한 광도파로와 나노회절격자에 포커싱하기 위한 오목거울면과 광 정렬용 가이드 패턴으로 이루어진다. 제작된 금속 원형 금형을 이용하여 복제 주조방식을 통해 UV 임프린트용 PDMS 스탬프를 Fig. 6(b)와 같이 제작하였다. 이후, 음각의 PDMS 스탬프에 코어 및 클래드 층으로 사용된 Chemoptics사의 ZPU13-450, ZPU 13-430인 UV 경화성 수지를 떨어드리고, 가압시킨 후 120초간 UV 경화하여 Fig. 6(c)와 같이 코어층과 클래드 층을 각각 제작하였다. 이후, 입사된 광원의 내부 전반사에 의한 광 도파로내 빔 전송을 위해 제작된 코어층과 클래드 층의 lamination 공정을 수행하였다. Lamination 공정시 임프린트된 코어층과 클래드 층의 정렬을 위해 Fig. 6(d)와 같이 스탬프 형상과 동일한 음각의 정렬용 지그를 제작하였으며, 제작된 정렬용 지그의 두께는 코어층과 클래드 층의 두께를 고려하여 1400 μm의 두께로 제작되었다. 제작된 하부 클래드위에 코어로 사용된 ZPU13-450을 떨어뜨리고 오목거울면을 기준으로 정렬시킨다. 이후, 상부클래드를 적층한 후, 3bar의 압력으로 가압과 동시에 120초간 UV 경화하여 Fig. 6(d)와 같이 평판형 광도파로부를 제작하였다.

제작된 나노회절격자소자와 평판형 광 도파로부의 오목거울면에 반사면을 형성하기 위해서 e-beam evaporator를 이용하여 200 nm 두께의 Au를 증착하였다.



(a) Orignal metal master (b) PDMS stamp

(a) Imprinted Core and Clad patterns (a) Fabricated optical waveguide

Fig. 6. Fabrication of optical waveguide, (a) Original metal master, (b) PDMS stamp, (c) imprinted core and clad layer, (d) fabricated optical waveguide.

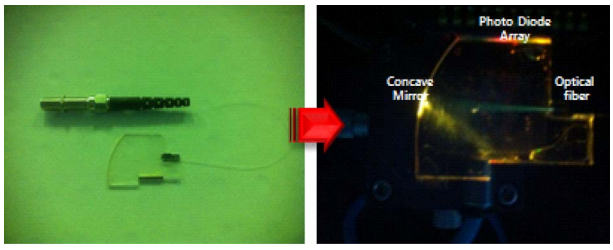
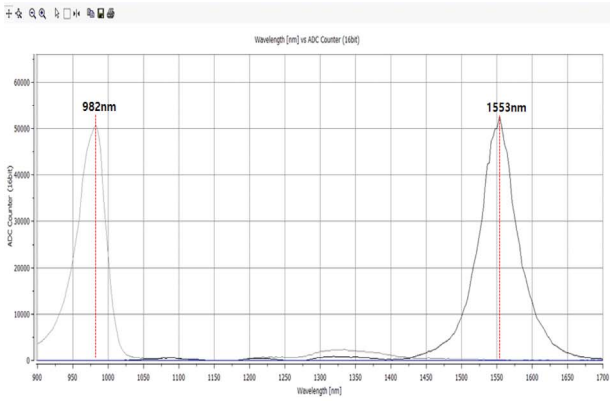


Fig. 7. Packaged monolithic spectrometer module based on planar optical waveguide.

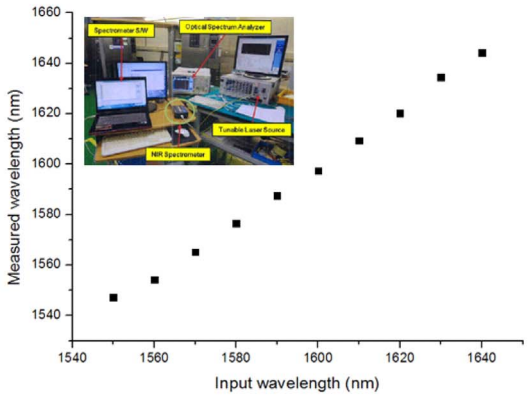
3.3. 분광모듈 패키징 공정

제작된 나노회절격자와 광섬유를 광도파로부의 정렬용 가이드 패턴을 이용하여 정렬하고 epoxy resin을 떨어뜨린 후, UV 조사기로 2분간 경화하여 패키징하였다. 이후 기준 파장인 980 nm와 1550 nm의 파장을 가진 레이저 다이오드 광원을 입사하여 각 파장이 맺히는 픽셀을 확인 후, PDA를 분광모듈에 본딩하였다.

Fig. 7은 나노회절격자와 광섬유가 결합된 분광모듈 이미지 및 광대역 광원을 통해 입력된 광원이 오목거울 및 나노회절격자에서 반사된 광원이 PDA로 수광되는 빔의 진행 경로를 보여준다.



(a) spectrum graph at 980nm and 1550nm



(b) Input wavelength vs. Measured wavelength

Fig. 8. Graph for the spectral data using spectrometer module based on planar waveguide.

4. 분광모듈 특성평가

제작된 분광 모듈의 파장 특성 평가를 위해 980 nm와 1550 nm의 광을 입력하였으며, 입력된 광을 분광모듈로 통과 시킨후, 파장별 피크 파장을 확인하였으며, 그 결과를 Fig. 8(a)에 나타내었다. 980 nm의 광원을 입력광으로 입사하였을 때 광 스펙트럼 분석기에서 981 nm의 피크 파장으로 측정되었으며, 제작된 분광기를 통해 측정한 결과에서는 982 nm의 파장으로 1 nm의 오차를 가지고 측정되었다. 또한, 1550 nm의 입력광을 사용한 경우도 1553 nm의 피크 파장을 확인 할 수 있었다. 또한, 파장가변 레이저를 이용하여 1550 nm에서 1640 nm까지 10 nm의 간격으로 파장을 가변시켰을 때 Fig. 8(b)와 같이 분광기의 측정 결과가 입력된 파장과 측정된 파장이 5 nm 이하의 오차를 가지고 일치함을 알 수가 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 비등간격의 나노회절격자와 오목거울이 포함된 평판형 광도파로 기반의 집적형 분광모듈 구조를 제안, 설계하고, 이를 저가 대량 생산에 접합한 UV 임프린트 공정을 통해 제작하였다.

제안된 분광모듈 구조는 기존의 자유 공간상에서의 광학부품의 조립 및 연결에 의한 분광기의 크기, 가격, 신뢰성 등의 문제점을 보완할 수 있는 매력적인 구조이다. 설계된 평판형 광도파로 기반의 분광모듈 구현을 위해 나노회절격자와 광도파로부를 UV 임프린트 기법으로 정밀 제작하였다. 나노회절격자는 선폭이 99 nm, 피치가 약 1 μm인 25°의 블레이징 각도를 가지는 준 3차원 형태로 제작되었다. 광 도파로부는 초정밀 기계가공을 통한 금속 원형 금형 제작, 복제 주조방식의 PDMS 스탬프 제작, UV 임프린트 공정을 통하여 코어층과 클래드 층을 정밀 제작하고, 이를 lamination 공정을 통해 광도파로부를 형성하였다. 이후, 정렬 가이드 패턴을 활용한 sliding joint 방식의 패키징 공정을 통하여 집적형 분광모듈을 구현할 수 있었다. 제작된 분광모듈의 경우, 파장 대역폭은 700 nm, 파장 분해능은 10 nm, 정밀도는 5 nm 이하로 제작되었으며, 이러한 분광 모듈은 추후 가스 검출 및 과일당도선별 센서 등에 적용 될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgments

“본연구는 산업통상자원부 우수기술연구센터(ATC) 사업의 연구비 지원으로 수행된 연구 결과입니다.”

References

1. S. Babin, C. Peroz, A. Bugrov, S. Dhuey and S. Cabrini, “Fabrication of novel digital optical spectrometer on chip”, J. Vac. Sci. Technol. B, 27(6), 3187 (2009).
2. J. Hoja and Grzegorz Lentka, “An analysis of a measurement probe for a high impedance spectrscopy analyzer”, Journal of the International Measurement Confederation, 41(1), 65 (2008).
3. V. Galyanin, A. Melenteva and A. Bogomolov, “Selecting optimal wavelength intervals for an optical sensor”, Sensors and Actuators B, 218, 97 (2015).
4. K. Wu, F. Li and Y. Yang, “Sensitive detection of CO_2 concentration and temperature for hot gases using quantum-cascade laser absorption spectroscopy”, Applied Physics B, 117(2), 659 (2014).
5. T. H. Kim, H. J. Kong and T. H. Kim, “Design and fabrication of a 900-1700 nm hyper-spectral imaging spectrometer”, Optics Communications, 283, 355 (2010).
6. S. C. Truxal, K. Kurabayashi and Y. C. Tung, “Design of a MEMS Tunable Polymer Grating for Single Detector Spectroscopy”, Journal of Optomechatronics, 2(2), 75 (2008).
7. S. M. Azmayesh-Fard, L. Lam, A. Melnyk and R. G. DeCorby, “Design and fabrication of a planar PDMS transmission grating microspectrometer”, Optics Express, 21, 11889 (2013).
8. A. Nitkowski, K. Preston, N. Sherwood-Droz, B. S. Schmidt and A. R. Hajian, “On-chip spectrometer for low-cost optical coherence tomography”, SPIE, 8934, 89340F (2014).
9. J. W. Kim, S. U. Cho and M. Y. Jeong, “A Study on optical characteristic of nano metal grid polarizer film with different deposition thickness”, J. Microclectron. Packag. Soc., 22(1), 63 (2015).
10. T. H. Kim, S. H. Huh and M. Y. Jeong, “Fabrication for optical layer and packaging technology of optical PCB”, J. Microclectron. Packag. Soc., 22(1), 1 (2015).