

폴리머 상부클래드를 이용한 온도무의존 AWG 파장분할 다중화 소자의 설계 및 제작

한영탁* · 김덕준 · 신장욱 · 박상호 · 박윤정 · 성희경

한국전자통신연구원 집적광모듈팀

Ⓣ 305-350 대전시 유성구 가정동 161번지

(2002년 8월 27일 받음, 2003년 3월 11일 수정본 받음)

양의 열광학 계수를 갖는 실리카를 하부클래드 및 코어에 그리고 음의 열광학 계수를 갖는 폴리머를 상부클래드에 적용한 AWG(Arrayed Waveguide Grating) 파장분할 다중화 소자에 대하여 이차원 스칼라 유한차분법(Scalar Finite Difference Method; SFDM)으로 온도 의존 특성을 분석한 결과, 클래드의 굴절률을 변화시키거나 실리카 코어 상부에 실리카 박막이 존재하는 구조에서 박막의 두께를 변화시켜 온도 의존 특성을 조절할 수 있음을 확인하였다. 이러한 해석결과에 근거하여 폴리머 상부클래드가 적용된 AWG 소자를 제작하였으며 기존의 실리카 AWG 소자와 특성을 비교분석하였다. 폴리머 상부클래드의 도입에 의해 삽입손실 및 크로스톡은 큰 변화가 없었으나 중심파장의 온도 의존성은 0.0130 nm/°C에서 0.0028 nm/°C 수준으로 감소하였다.

주제어 : arrayed waveguide grating, wavelength multiplexer, polymer overcladding, planar lightwave circuit.

I. 서 론

기존의 실리카 PLC(Planar Lightwave Circuits) 기술로 제작되는 AWG 파장분할 다중화 소자의 출력단 중심파장은 대략 0.0120 nm/°C의 온도 의존성을 가지고 있으며,^[1-4] 이러한 온도 의존성은 채널간 크로스톡(Crosstalk) 문제를 야기시킴으로써 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 시스템 적용시 소자의 온도 안정화가 반드시 필요하다. 그렇지만 온도 안정화를 위하여 히터 또는 Peltier Cooler와 같은 냉각장치를 사용하는 것은 영구적으로 수와트(Watt)의 전력소모와 전자제어회로를 필요로 하며, 가격, 소자크기, 신뢰성, 그리고 에너지보존 측면에서 DWDM 시스템을 광범위하게 사용하는데 장애요소가 된다.

실리카 AWG 소자에서 중심파장의 온도 의존성은 실리카 유리의 열광학계수에서 비롯된 것으로,^[1-4] 이러한 온도 의존성을 억제하기 위하여 배열도파로에 삼각형 groove를 형성하고 그 안에 음의 열광학계수를 갖는 실리온 접착제(Adhesive)를 삽입하는 방법,^[1,2] 초생달(Crescent) 모양의 트랜치를 입력단 슬롯도파로에 형성하는 방법,^[3] 실리온 기판 뒷면에 Bimetal을 부착하는 방법들이^[4] 제안되었다. 한편, Y. Kokubun은 실리카 광도파로에 음의 열광학계수를 갖는 PMMA-TFMA 폴리머를 상부클래드에 적용하여 온도무의존 환형공진기(Ring Resonator)를 구현하였으며^[5,6] D. Bosc은 유사한 방법으로 온도무의존 IBG(Integrated Bragg Grating) 소자를 제작하였다.^[7] 이와 같이 폴리머 상부클래드를 이용한 실리카 광도파로의 온도무의존 구현방법은 IBG 소자와 환형공진기 제작시 소개된 적은 있지만 AWG 소자에 적용한 예는 아직까지 보고되지 않고 있다.

본 논문에서는 양의 열광학 계수를 갖는 실리카를 하부클래드 및 코어로 그리고 음의 열광학 계수를 갖는 폴리머를 상부클래드에 적용한 AWG 소자에 대하여 이차원 스칼라 유한차분법(Scalar Finite Difference Method; SFDM)으로^[8] 온도 의존 특성을 분석하였고 중심파장 변화를 계산하였다. 이러한 해석결과에 근거하여 실리온 기판상에 화염가수분해증착(Flame Hydrolysis Deposition; FHD) 공정과^[9] 폴리머 스핀코팅 공정을 이용하여 온도무의존 구조를 갖는 AWG 소자를 제작하였으며 기존의 실리카 AWG 소자와 특성을 비교분석하였다

II. 온도무의존 도파로의 원리

실리카 광도파로에서 파장의 온도 의존성은 다음과 같이 표현할 수 있다.^[5,6]

$$\frac{d\lambda_0}{dT} = \left(\frac{1}{L} \frac{dS}{dT} \right) \frac{\lambda_0}{n_{eff}} \tag{1a}$$

$$S = n_{eff} \cdot L \tag{1b}$$

여기서, λ_0 는 파장, n_{eff} 는 광도파로의 유효굴절률(Effective Refractive Index)이고, T 는 온도, L 은 매질의 길이, 그리고 S 는 광경로이다. 또한, 기판 위에 형성된 광도파로에서 광경로의 온도 의존성은 다음과 같다.^[5,6]

$$\frac{1}{L} \frac{dS}{dT} = n_{eff} \alpha_s + \frac{dn_{eff}}{dT} \tag{2}$$

α_s 는 기판의 열팽창계수며 일반적으로 기판의 두께가 광도파로에 비하여 훨씬 두껍기 때문에 광도파로의 열팽창계수는 기판의 열팽창계수에 의하여 결정된다. 식 (2)에서 도파로의 온

*E-mail: frenclin@etri.re.kr

도무의존 조건은 다음과 같이 유도된다.

$$\alpha_s + \frac{1}{n_{eff}} \frac{dn_{eff}}{dT} = 0 \quad (3)$$

식 (3)에서 실리콘 기판의 열팽창 계수인 α_s ($2.63 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)와 실리카 하부클래드 및 코어의 열광학계수는 양수이므로 음의 열광학계수를 갖는 폴리머 물질을 상부클래드에 적용하면 dn_{eff}/dT 이 음수가 되기 때문에 식 (3)을 만족하는 온도무의존 도파로를 구현할 수 있다.

식 (1)~(2)를 이용하여 특정온도 T_c 에서 AWG 소자의 중심파장에 대한 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.^[10]

$$\lambda_0^{T_c} = \lambda_0 + \left(n_{eff} \alpha_s + \frac{dn_{eff}}{dT} \right) \cdot \frac{\lambda_0}{n_{eff}} \cdot \Delta T \quad (4a)$$

$$\lambda_0 = \frac{\Delta n \cdot n_{eff}}{m} \quad (4b)$$

$$\Delta T = T_c - T_0 \quad (4c)$$

식 (4)에서 λ_0 는 상온에서의 중심파장, m 은 AWG 소자의 회절차수, ΔL 은 경로차, T_0 는 25°C 에서의 온도를 의미한다.

III. 모의전산

그림 1은 실리콘 기판위에 실리카 하부클래드와 코어로 이루어진 광도파로 구조에서 코어 상부에 실리카 박막을 형성하고 폴리머 상부클래드를 적용한 것을 나타낸 것이다. 그림 1에서 실리카 코어 상부에 형성된 실리카 박막은 광의 confinement 및 온도 의존 특성을 조절하기 위하여 도입된 것이다.

앞에서 유도된 식 (4)를 근거로 해서 비균일 분할(Inhomogeneous Mesh) 이차원 SFDM 수치해석법을^[8] 이용하여 온도에 따른 중심파장의 변화를 계산하였다. 그림 2는 계산의 정확성을 검증하기 위하여 상부 및 하부클래드의 굴절률이 1.4430이고 모든 영역이 실리카로 형성된 $0.75\% \times 6 \times 6 \mu\text{m}^2$ 광도파로에서 $\Delta L = 56.75 \mu\text{m}$, $m = 53$ 인 AWG 소자의 온도 의존성을 계산한 것이다. 그림 2에서 계산에 사용된 실리콘 기판의 열팽창계수 α_s 는 $2.63 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, 실리카의 열광학계수는

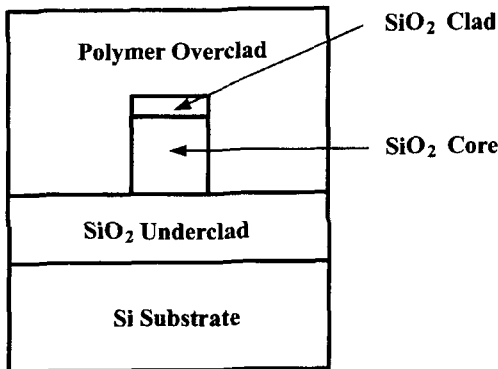


그림 1. 온도무의존 광도파로의 단면구조.

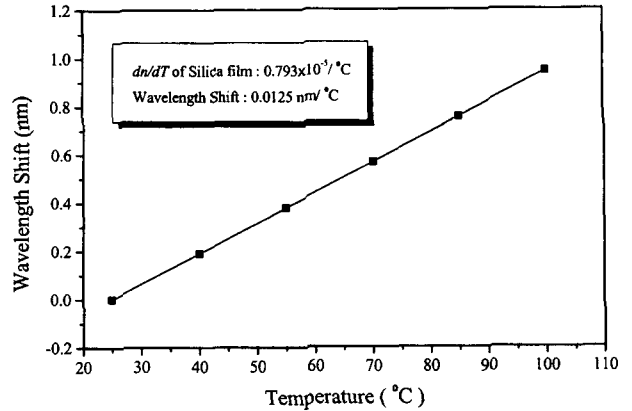


그림 2. 실리카 광도파로의 온도 의존 특성 (dn/dT of silica : 0.793×10^{-5} , $n_u = 1.4430$, $n_o = 1.4430$).

Y. Kokubun이 실리콘 기판에 실리카 막을 형성하고 측정 한 값인 $0.793 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 를 사용하였다.^[6] 이하 모든 온도 의존 특성 계산은 동일한 경로차 ΔL , 회절차수, 실리콘 기판의 열팽창 계수 m , 그리고 실리카의 열광학계수를 동일하게 적용하였다. 그림 2를 보면 본 해석법으로 계산된 실리카 광도파로의 온도 의존성은 약 $0.0125 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 로 기존 논문등에서 보고된 결과와^[1-7] 일치하고 있으며 본 해석법이 타당함을 알 수 있다.

본 해석법을 이용하여 실리카 광도파로에 폴리머 상부클래드를 적용할 때 다음과 같은 세가지 경우에 대하여 온도에 따른 중심파장의 변화를 살펴보았다.

3.1. 폴리머 상부클래드의 열광학계수를 변화시킨 경우

그림 3은 $0.75\% \times 6 \times 6 \mu\text{m}^2$ AWG 소자에서 상부클래드의 굴절률(n_u) 및 하부클래드의 굴절률(n_o)이 1.4430인 경우, 폴리머 상부클래드의 열광학계수를 변화시키면서 온도에 따른 중심파장의 변화를 계산한 것이다. 계산에 사용된 폴리머의 열광학계수는 벌크(Bulk) 상태의 값이 아니고 실리카 하부클래드 및 코어 위에 스펀코팅으로 상부클래드 막을 형성하였을 때의 값을 나타낸다. 폴리머 상부클래드의 열광학계수 절대값이 $1.0 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 이하에서는 온도에 따른 중심파장이 증가하는 경향을

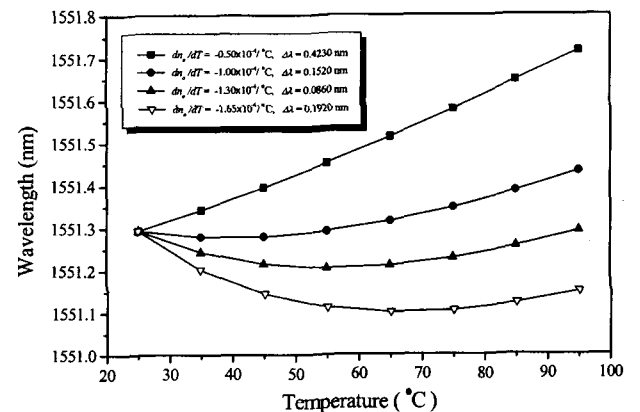


그림 3. 폴리머 상부클래드의 dn/dT 에 따른 온도 의존 특성 (dn/dT of silica : $0.793 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, $n_u = 1.4430$, $n_o = 1.4430$).

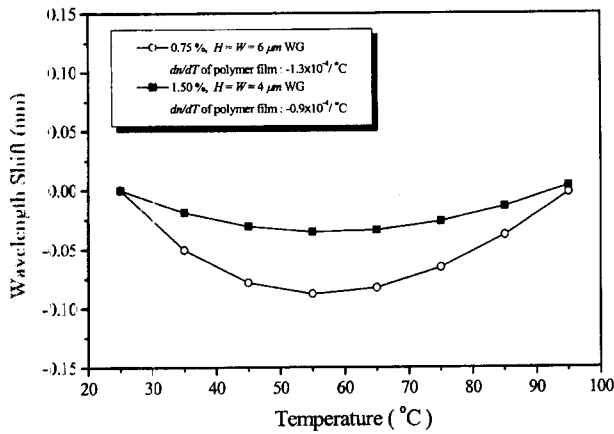


그림 4. 광도파로 구조에 따른 온도 의존 특성 (dn/dT of silica : $0.793 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, $n_u = 1.4430$, $n_o = 1.4430$).

보였으나, $1.0 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 이상이 되면서 온도에 따른 중심파장이 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 중심파장이 감소하다가 다시 증가하는 것은 폴리머 상부클래드의 열광학계수 n_u (-) 값이기 때문에 고온으로 갈수록 광의 confinement가 증가하여 폴리머 상부클래드의 온도보상 효과가 감소하기 때문이다. 폴리머 열광학계수의 절대값이 커질수록 중심파장 감소율이 증가하였으며 기울기의 부호가 음에서 양으로 변하는 회전점(Turning Point)이 고온으로 이동함을 알 수 있다. 폴리머 상부클래드의 열광학계수가 $-1.3 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 일 때 25~95°C의 온도범위에서 파장변화량 $\Delta\lambda$ 값이 0.0860 nm($0.0012 \text{ nm}/^\circ\text{C}$)로 최소치를 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 각각 0.75% $6 \times 6 \mu\text{m}^2$ 과 1.5% $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ 의 코어 크기 및 굴절률차이가 다른 AWG 소자에서 상부클래드의 굴절률 및 하부클래드의 굴절률이 1.4430인 경우, 폴리머 상부클래드의 열광학계수를 변화시키면서 온도에 따른 최적의 파장변화 특성을 나타낸 것이다. 그림 4를 보면 코어 크기가 작고 굴절률차이가 큰 광도파로에서 온도변화에 따른 파장변화량이 작음을 알 수 있다. 0.75% $6 \times 6 \mu\text{m}^2$ 광도파로에서 열광학계수가 -1.3×10^{-4} 인 폴리머 상부클래드를 적용하였을 때 AWG 소자의 온도 의존성이 약 $0.0012 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 이었으나, 1.5% $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ 광도파로에서 폴리머 상부클래드의 열광학계수를 -0.9×10^{-4} 로 적용하였을 때에는 온도 의존성을 최대 $0.0005 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 의 수준까지 낮출 수 있었다. 따라서, 고굴절률차이를 갖는 실리카 광도파로는 소자의 크기를 줄일 수 있을 뿐 아니라 음의 열광학계수를 갖는 폴리머 상부클래드를 적용하였을 때 온도 무의존 AWG 소자 구현에 유리함을 알 수 있다.

3.2. 클래드의 굴절률을 변화시킨 경우

폴리머 물질을 상부클래드에 적용할 때 열광학계수를 조절하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서, 0.75% $6 \times 6 \mu\text{m}^2$ AWG 소자에서 폴리머 상부클래드의 열광학계수가 $-1.65 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 로 고정된 경우, 클래드 굴절률을 변화시켰을 때 온도 변화에 따라서 중심파장이 어떠한 영향을 받는지 알아보았다.

그림 5는 하부클래드의 굴절률이 1.4430일 때, 상부클래드의

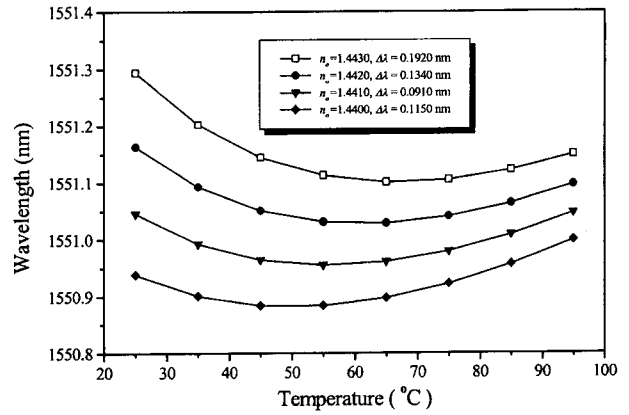


그림 5. 폴리머 상부클래드의 굴절률에 따른 온도 의존 특성 (dn/dT of silica : $0.793 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, dn/dT of polymer : $-1.65 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$, $n_u = 1.4430$).

굴절률을 1.4430에서 1.4400으로 변화시키면서 온도에 따른 중심파장의 변화를 계산한 것이다. 상부클래드의 굴절률이 낮아질수록 모든 온도구간에서 중심파장이 낮아졌으며, 급격하게 감소하였던 파장변화가 점차 완만해지는 경향을 보였다. 상부클래드의 굴절률이 1.4410일 때 파장변화량 $\Delta\lambda$ 값이 0.0910 nm ($0.0013 \text{ nm}/^\circ\text{C}$)로 최소값을 보였으며 1.4400일 때에는 파장변화량이 다시 증가하였다.

그림 6은 상부클래드의 굴절률이 1.4430인 경우, 하부클래드의 굴절률을 1.4430에서 1.4460으로 변화시키면서 온도에 따른 중심파장의 변화를 계산한 것이다. 하부클래드의 굴절률이 높아질수록 모든 온도구간에서 중심파장이 높아졌고, 그림 5의 결과와 마찬가지로 급격하게 감소하였던 파장의 변화가 점차 완만해지는 유사한 경향을 보였다. 그러나, 같은 굴절률 변화 0.0020에서 온도 변화에 따른 파장변화량이 상부클래드의 굴절률을 변화시킨 경우에 약 0.1010 nm, 하부클래드의 굴절률을 변화시킨 경우에는 0.0230 nm로 상부클래드의 굴절률을 변화시킨 경우에 비해서 상대적으로 미미함을 알 수 있다.

상부 및 하부클래드의 굴절률을 변화시키면 광의 confinement

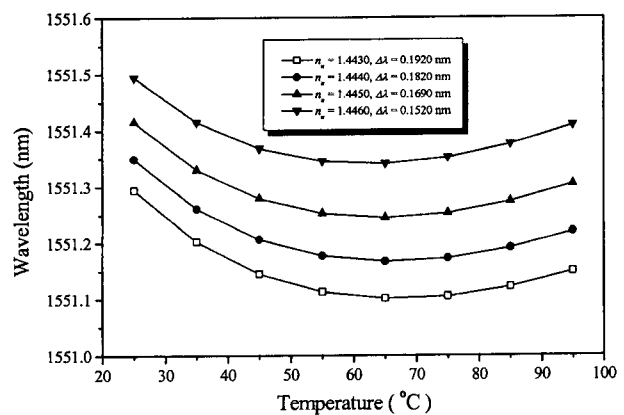


그림 6. 실리카 하부클래드의 굴절률에 따른 온도 의존 특성 (dn/dT of silica : 0.793×10^{-5} , dn/dT of polymer : $-1.65 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$, $n_o = 1.4430$).

가 증가하거나 감소하게 된다. 따라서, 클래드 굴절률변화에 따른 광 confinement 변화는 폴리머 상부클래드의 음의 열광학계수에서 비롯되는 온도보상 효과를 조절하여 온도에 따른 중심파장의 변화를 개선할 수 있음을 알 수 있다. 그림 5~6은 상부클래드의 굴절률을 변화시키는 것이 하부클래드의 굴절률을 변화시키는 것보다 온도에 따른 파장변화를 효과적으로 개선할 수 있음을 보여주고 있다. 클래드의 굴절률을 변화시키는 방법은 상온에서의 중심파장이 변하는 문제점을 가지고 있지만, 이러한 문제점은 코어 및 클래드의 굴절률을 전체적으로 상향 및 하향 조절하면 원하는 중심파장으로 맞출 수 있다.

3.3. 코어 상부에 실리카 박막을 형성한 경우

그림 1과 같은 실리카 코어 상부에 실리카 박막을 형성시킨 0.75% 6×6 μm² 광도파로 구조에서 폴리머 상부클래드의 열광학계수가 -1.65×10⁻⁴/°C, 상부 및 하부클래드의 굴절률과 코어 상부의 실리카 박막의 굴절률이 1.4430인 경우, 박막두께 (d)를 변화시키면서 온도에 따른 중심파장의 변화를 계산하여 그림 7에 나타내었다. 코어 상부에 실리카 박막을 적용하지 않은 경우 폴리머 상부클래드에 의해 온도의존 특성이 과도하게 보상되었지만, 실리카 박막의 두께 (d)를 증가시킬수록 중심파장의 변화가 점차 완만해지는 경향을 보였다. 실리카 박막의 두께가 0.6 μm일 때 파장변화량 Δλ 값이 0.1080 nm로 최소값을 보였으며 1 μm일 때에는 파장변화량이 다시 증가하였다.

그림 1에서 처럼 실리카 코어 상부에 실리카 박막을 형성시키고 박막의 두께를 변화시키면 광의 confinement를 조절할 수 있다. 즉, 그림 7은 폴리머 상부클래드에 의하여 실리카 광도파로의 온도의존 특성이 과도하게 보상된 경우, 실리카 코어 상부에 실리카 박막을 도입함으로써 온도변화에 따른 중심파장의 변화를 조절할 수 있음을 보여주고 있다. 또한, 이러한 방법은 클래드의 굴절률을 변화시킨 경우와는 달리 상온에서 중심파장이 이동하지 않기 때문에 온도무의존 AWG 소자 구현에 유리할 것으로 판단된다.

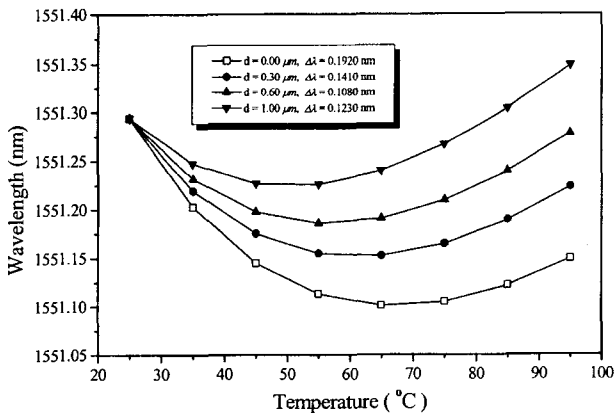


그림 7. 코어 상부의 실리카 박막두께 (d)에 따른 온도의존 특성(dn/dT of silica : 0.793×10⁻⁵/°C, dn/dT of polymer : -1.65×10⁻⁴/°C, n_i = 1.4430, n_o = 1.4430).

IV. 광소자 제작 및 특성평가

4.1. 광소자 제작

스핀코팅에 의한 폴리머 상부클래드 형성에 앞서, 실리콘 기판 상부에 실리카 하부클래드막과 코어막이 적층되어 있는 슬랩 도파로 유리막을 FHD공정을 이용하여 제작하였으며 이후 AWG소자의 마스크 패턴에 따라 코어막을 건식방법으로 식각하였다. 이렇게 식각된 유리막 상부에 폴리머 용액을 1000 rpm에서 30초 동안 스핀한 후 질소분위기에서 3분 동안 UV-Curing하고 마지막으로 160°C에서 30분 동안 열처리하여 폴리머 상부클래드를 그림 1에서 실리카 코어 상부에 실리카 박막을 적용하지 않은 구조로 형성하였다. 1회 코팅시 폴리머막의 두께는 대략 10 μm이었으며 20 μm 이상의 두께를 얻기 위해서 코팅공정을 2~3회 반복하였다.

상기 스핀코팅 공정에서 사용한 폴리머 용액은 ZenPhotonics (Daejeon, Korea)에서 구입한 상품명 ZPU13-RI-430과 ZPU13-RI-450을 굴절률 조절을 위해 적당량 혼합한 것으로 주성분은 불소가 치환된 Acrylate이다. ZenPhotonics에서 제시한 표 1의 자료에서 알 수 있듯이 이 폴리머 물질의 열광학계수는 음(-)이며 그 절대값이 실리카에 비해 10배 이상 크므로 온도 변화에 따른 도파로의 유효굴절률 변화 (dn_e/dT)를 음수로 만드는 것이 가능하다.

한편, 식각된 실리카 유리막 상부에 FHD 공정을 적용하여 실리카 상부클래드를 형성하는 방법으로 도파로가 모두 실리카인 AWG 소자를 제작하였으며, 이와 같이 제작된 AWG 소자들의 온도변화에 따른 파장 스펙트럼을 Tunable LD와 Optical Spectrum Analyzer를 사용하여 측정하였다. 그리고, 상기 AWG 소자의 도파로 규격 및 중요한 설계 변수들을 표 2에 나타내었으며 도파로 형성시 이에 준하여 공정을 진행하였다.

4.2. 특성 평가

제작된 AWG 소자들의 상온에서 측정된 채널별 파장 스펙트럼을 그림 8과 그림9에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 삽입손실과 크로스톡은 상부클래드의 종류에 관계없이 -6 dB와 -25 dB 수준이었으며, 중심파장은 실리카 상부클래드의 경우 1552.45 nm 그리고 폴리머 상부클래드의 경우 1551.49 nm에 존재하였다. 이와 같이 삽입손실과 크로스톡 값들이 다소 만족스럽지 못한 것과 특히 폴리머 상부클래드의 경우 중심파장이 설계치에 비해 1.0 nm나 차이 나는 것은 도파로 형성공정

표 1. 상부클래드 폴리머 용액의 특성

	ZPU13-RI-430	ZPU13-RI-450
Refractive Index	1.4300 @1550nm	1.4500 @1550nm
Viscosity	50~150 cPs	
Thermo-Optic Coeff.	-1.7×10 ⁻⁴ /°C	
Thermal Expansion Coeff.	300~400×10 ⁻⁶ /°C	
Degradation Temp.	300±20°C	
Propagation Loss	0.4 dB/cm	
Polarization Dependent Loss	0.02 dB/cm	
Birefringence (n _{TE} - n _{Tm})	0.0007±0.0003	

표 2. AWG 소자의 설계규격

Channel Number	16
Channel Spacing	0.8 nm
Center Wavelength	1552.5 nm
Waveguide Dimension	6 μm \times 6 μm
Index Difference	0.75 %
Path Difference	56.7502 μm
Diffraction Order (m)	53
Focal Length	6061.94 μm
Free Spectral Range	28.801 μm
Minimum Bending Radius	5000 μm

의 불완전성으로 인해 도파로의 산란요소들이 완전히 제거되지 못했으며 도파로의 굴절률 값과 분포를 설계 규격에 정확히 맞추지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 그런데 폴리머 상부클래드의 경우 스펙트럼 선폭이 상대적으로 좁은 것을 알 수 있는데, 이러한 현상 역시 도파로 형성시 굴절률 제어가 불완전하여 입력도파로와 열격자도파로 간의 광결합계수가 설계치에서 벗어났기 때문인 것으로 이해된다.^{11,12)}

그림 10은 AWG 소자의 온도를 변화시키면서 측정된 파장 스펙트럼으로부터 중심파장의 변화를 얻은 결과로서, 실리카 상부클래드의 경우 기존에 보고된 것과 마찬가지로 온도가 증

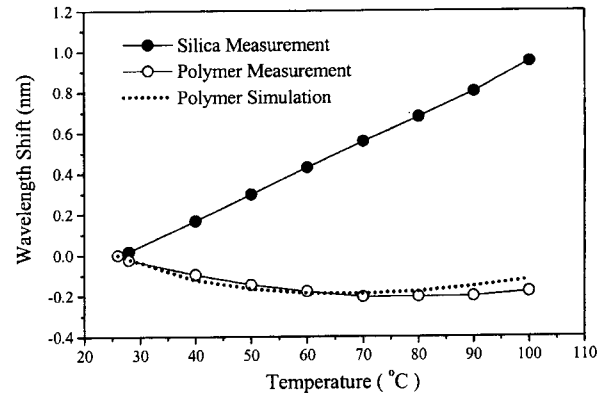


그림 10. AWG 소자의 온도변화에 따른 중심파장 변화.

가함에 따라 중심파장이 직선적으로 증가하며 그 기울기가 0.0130 nm/°C인 것을 알 수 있다. 그렇지만 폴리머 상부클래드의 경우에는 온도증가에 따라 중심파장이 완만하게 감소하다가 70°C 부근에서 다시 완만하게 증가하는 경향을 보였으며 26~100°C 구간에서의 변화폭이 0.21 nm로 매우 작은 것을 알 수 있다. 본 논문과 동일한 도파로 구조에 대하여 폴리머 상부클래드 적용시 이차원 SFDM으로 중심파장의 온도의존성을 모의전산한 결과를 그림 10에 함께 나타내었으며, 계산에 사용된 폴리머 상부클래드의 열광학계수와 상온에서의 굴절률은 $-1.65 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 와 1.4430 그리고 실리카 광도파로는 하부클래드의 굴절률이 1.4430인 0.75% $6 \times 6 \mu\text{m}^2$ 이었다.

한편, 온도를 달리하여 측정된 파장 스펙트럼의 모양을 비교한 결과(그림 11) 폴리머 상부클래드의 경우 중심파장의 이동 이외에 삽입손실과 출력단 스펙트럼 선폭이 변화하는 것을 발견하였는데 이러한 현상은 실리카 상부클래드의 경우에는 관찰되지 않았다. 그림 12에서 알 수 있듯이 온도가 증가함에 따라 삽입손실은 -1.8 dB정도 증가하였으며 선폭은 0.04 nm 정도 줄어들었다. 이러한 삽입손실과 선폭의 온도의존성은 중심파장의 온도의존성 문제를 해결하기 위해 도입한 폴리머 상부클래드의 열광학계수 부호가 실리카와 반대이기 때문에 필연적인 것으로 이해된다. 즉, 온도가 증가함에 따라 광의

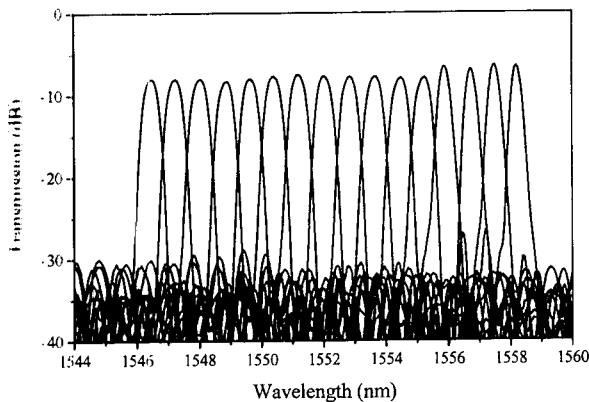


그림 8. 실리카 상부클래드 AWG 소자의 상온에서 측정된 파장 스펙트럼.

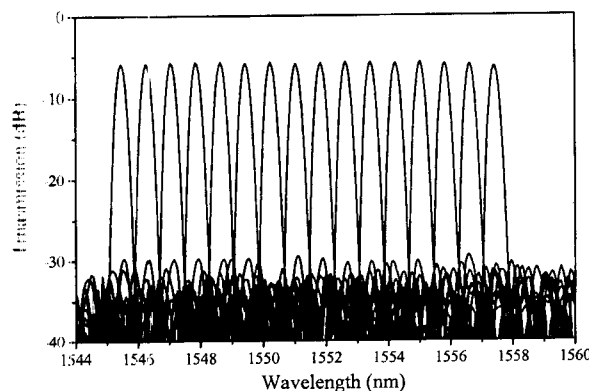


그림 9. 폴리머 상부클래드 AWG 소자의 상온에서 측정된 파장 스펙트럼.

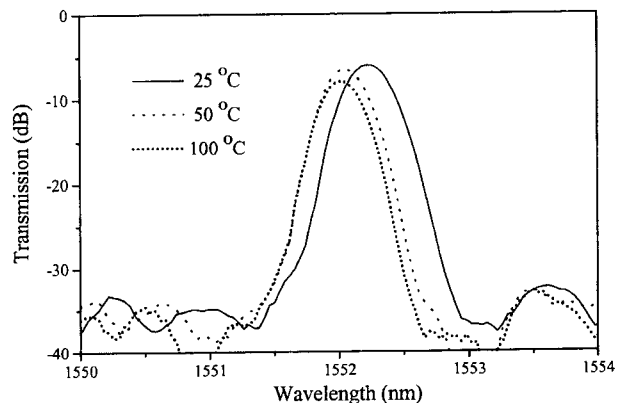


그림 11. 폴리머 상부클래드 적용시 온도변화에 따른 파장 스펙트럼 변화.

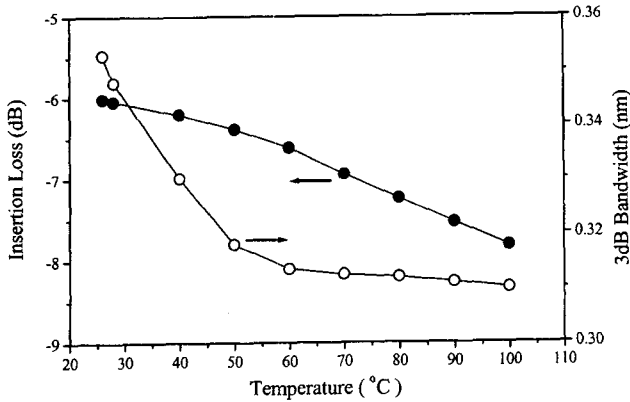


그림 12. 폴리머 상부클래드 적용시 온도변화에 따른 삽입손실 및 스펙트럼 선평변화.

confinement에 직접적으로 영향을 미치는 도파로의 굴절률 차이는 더욱 커지게 되고 그 결과 도파로의 모드크기가 줄어들게 되어 삽입손실의 증가와 스펙트럼 선평 감소와 같은 결과가 초래될 수 있다.

IV. 결 론

양의 열광학 계수를 갖는 실리카를 하부클래드 및 코아에 그리고 음의 열광학 계수를 갖는 폴리머를 상부클래드에 적용한 AWG 파장분할 다중화 소자에 대하여 이차원 SFDM으로 중심파장의 온도의존 특성을 해석하였다. 도파로 크기와 굴절률차이가 고정된 상황에서의 온도의존성은 폴리머의 열광학계수 값에 민감하였고 도파로 크기가 작고 굴절률차이를 갖는 광도파로가 AWG 소자의 온도의존성 억제시 유리함을 확인하였다. 예를들어 0.75% 6×6 μm² 도파로의 경우 -1.3×10⁻⁴/°C의 열광학계수에서 최소 온도의존성 (0.0012 nm/°C)에 도달하였으며, 1.5% 4×4 μm² 도파로의 경우 -0.9×10⁻⁴/°C의 열광학계수에서 최소 온도의존성(0.0005 nm/°C)에 도달하였다. 그리고 폴리머의 열광학계수가 -1.63×10⁻⁴/°C로 고정된 상황에서는 0.75% 6×6 μm² 도파로의 경우 하부클래드 및 상부클래드의 굴절률을 각각 1.4430과 1.4410으로 조절하여 온도의존성을 0.0013 nm/°C 까지 개선시킬 수 있었다. 또한, 폴리머 상부클래드에 의해 실리카 도파로의 온도의존성이 과도하게 보상되는 경우에는 코어 상부에 적당한 두께의 실리카 박막을 도입하는 것이 온도무의존 AWG 소자의 구현에 유리함을 알 수 있었다.

이러한 해석결과에 근거하여 실리콘 기판상에 FHD 공정 및 폴리머 스펀코팅 공정을 이용하여 온도무의존 구조를 갖는 AWG 소자를 제작하여 특성을 평가한 결과, 실리카 상부클래드 적용시에 비해 삽입손실 및 크로스톡의 큰 저하없이 중심파장의 온도의존성이 0.0130 nm/°C에서 0.0028 nm/°C 수준으로 억제되었다. 모의전산 결과에 의하면 폴리머 상부클래드의 굴절률을 조절하거나 코어 상부에 실리카 박막을 형성하여

온도의존성을 더욱 억제할 수 있지만, 폴리머 상부클래드의 도입에 의해 삽입손실 및 스펙트럼 선평 등과 같은 특성들이 추가로 온도의존성을 갖는 문제점을 해결하는 것이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Y. Inoue, A. Kaneko, F. Hanawa, H. Takahashi, K. Hattori and S. Sumida, "Athermal silica-based arrayed-waveguide grating multiplexer," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 23, pp. 1945-1946, 1997.
- [2] A. Kaneko, S. Kamei, Y. Inoue, H. Takahashi and A. Sugita, "Athermal silica-based arrayed-waveguide grating (AWG) multi/demultiplexer with new low loss groove design," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 4, pp. 318-319, 2000.
- [3] K. Maru, M. Ohkawa, H. Nounen, S. Takasugi, S. Kashimura, H. Okano and H. Uetsuka, "Athermal and center wavelength adjustable arrayed waveguide grating," *OFC 2000*, vol. 2, 2000, pp. 130 -132.
- [4] N. Ooba, Y. Hibino, Y. Inoue and A. Sugita, "Athermal silica-based arrayed-waveguide grating multiplexer using bimetal plate temperature compensator," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 21, pp. 1800-1801, 2000.
- [5] Y. Kokubun, N. Funato and M. Takizawa, "Athermal waveguides for temperature-independent lightwave devices," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 5, no. 11, pp. 1297-1300, 1993.
- [6] Y. Kokubun, S. Yoneda and S. Matsuura, "Temperature-independent optical filter at 1.55 μm wavelength using a silica-based athermal waveguide," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 4, pp. 367-369, 1998.
- [7] D. Bosc and N. Hurault, "Numerical design optimization of ridge waveguide for athermal integrated Bragg grating," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 10, no. 12, pp. 1751-1753, 1998.
- [8] C. M. Kim and R. V. Ramaswamy, "Modeling of graded-index channel waveguide using non-uniform finite-difference method," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 7, no. 7, pp. 1581-1589, 1989.
- [9] 심재기, 이윤학, 성희경, 최태구, "FHD법에 의한 B₂O₃-P₂O₅-SiO₂ 실리카막의 효과적인 P₂O₅ 도핑," *한국요업학회지*, 제35권 4호, pp. 364-370, 1998.
- [10] A. Kaneko, T. Goh, H. Yamada, T. Tanaka and I. Ogawa, "Design and applications of silica-based planar lightwave circuits," *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 5, no. 5, pp. 1227-1236, 1999.
- [11] M. Smith and C. Dam, "Phaser-based WDM-devices : principles, design and applications," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 2, no. 2, pp. 236-250, 1996.
- [12] R. Adar, C. H. Henry, D. Dragone, R. C. Kistler and M. A. Milbrodt, "Broad-band array multiplexers made with silica waveguides on silicon," *J. Lightwave Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 212-219, 1993.

Design and fabrication of temperature-independent AWG-WDM devices using polymer overcladding

Young-Tak Han[†], Duk-Jun Kim, Jang-Uk Shin, Sang-Ho Park, Yoon-Jung Park and Hee-Kyeng Sung

Integrated Optical Module Team ETRI, Daejeon 305-743, KOREA

[†]*E-mail : frenclin@etri.re.kr*

(Received August 27, 2002, Revised manuscript March 11, 2003)

In arrayed waveguide grating (AWG) devices whose waveguides were composed of polymer with negative thermo-optic coefficient as overcladding, and silica with positive thermo-optic coefficient as both core and undercladding, we investigated the temperature dependence of the central wavelength using two-dimensional SFDM. From these results, it was confirmed that the temperature dependence can be nearly eliminated by adjusting the refractive index of the cladding and the thickness of the silica thin film upper-loaded on the core. Based on the numerical calculations, the AWG device with polymer overcladding was fabricated, and its optical characteristics were compared with those of the original silica AWG device. The introduction of polymer overcladding decreased the temperature dependence of the central wavelength from 0.0130 nm/°C to 0.0028 nm/°C without deteriorating the insertion loss and crosstalk characteristics.

OCIS Code : 230.738.