

폴리머 마이크로링 공진기를 이용한 고감도 집적광학형 온도센서

이학순 · 김건덕 · 이상신[†]

광운대학교 전자공학과

☎ 139-701 서울특별시 노원구 월계동 447-1

(2008년 5월 2일 받음, 2008년 6월 10일 수정본 받음, 2008년 6월 11일 게재 확정)

본 논문에서는 폴리머 마이크로링 공진기 기반의 고감도 집적광학형 온도센서를 제안하고 구현하였다. 이 센서는 열광학효과로 인한 공진기 소자의 공진파장의 이동으로부터 주변 온도 변화를 측정한다. 열팽창계수가 작은 실리콘 기판 위에 열광학계수가 큰 폴리머를 도입하여 공진기 센서를 제작함으로써 센서의 감도를 향상시켰다. 상온 부근 20°C ~ 30°C의 범위에서 얻어진 온도센서의 감도는 약 -165 pm/°C였고, 온도분해능은 0.1°C 이하였다. 그리고 제작된 온도센서의 동작 특성은 표면에 놓여진 분석대상물의 굴절률 변화에 거의 영향을 받지 않음을 확인하였다. 따라서 제작된 센서는 다른 광센서에 집적되어 주변 온도 변화로 인하여 유발되는 오차를 효과적으로 보정할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: Polymers, Ring resonators, Temperature sensors, Integrated optical devices

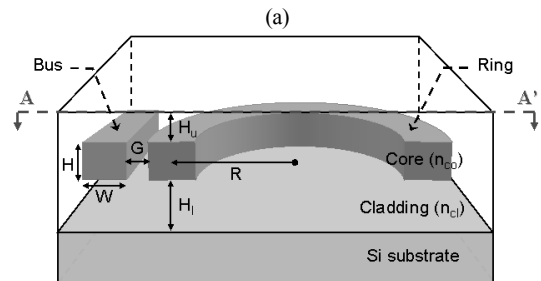
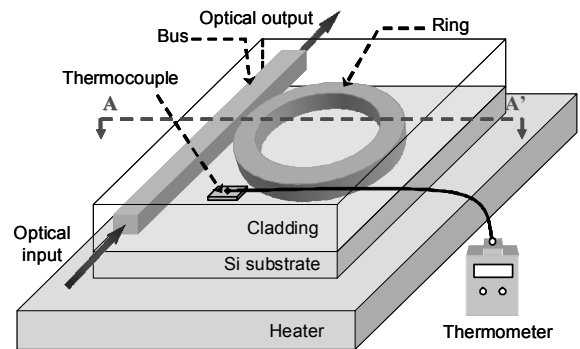
I. 서 론

집적광학 소자 기반의 광센서는 소형, 전자기간섭에 무관한 동작특성, 다른 소자와 용이한 집적 등의 장점으로 인하여 활발히 연구되어 오고 있으며, 이들 대부분은 고속 응답, 높은 민감도 등의 특징을 갖는 굴절률 감지 방식을 채택하고 있다. 이러한 굴절률 감지 방식의 광센서를 구현하기 위해 사용된 소자로는 방향성 결합기, 표면플라즈몬 공진(surface plasmon resonance)소자, 간섭계, 브래그(Bragg) 격자, 마이크로링 공진기(microring resonator) 등이 있다.^[1-7] 한편, 이러한 광센서의 성능은 주변 온도에 따라 영향을 받기 때문에 이로 인한 오차가 불가피하게 유발된다.^[8] 이러한 문제점은 기존 집적광학 소자 기반의 광센서에 소형의 온도센서를 집적함으로써 극복될 수 있는데, 다중모드 광결합기,^[9,10] 도파로,^[11] 링 공진기^[12] 등의 집적광학 소자 기반의 온도센서가 적합할 것으로 사료된다. 특히, 마이크로링 공진기는 간단한 구조, 초소형, 우수한 감도 등의 장점을 갖고 있고, 유사한 구조의 링 공진기 센서와 집적을 통해 온도 변화로 인한 오차를 효과적으로 보정할 수 있을 것으로 기대된다.^[7]

본 논문에서는 폴리머 마이크로링 공진기 기반의 집적광학형 온도센서를 제안하고 구현하였다. 이 센서는 공진파장 이동을 관찰하여 주변 온도 변화를 측정한다. 센서의 감도를 향상시키기 위해 열팽창계수(coefficient of thermal expansion: CTE)가 작은 실리콘 기판 위에 열광학계수(thermooptic coefficient)가 큰 폴리머를 도입하여 링 공진기 소자를 제작하였다. 그리고 직선 버스와 링 도파로 위에 상부클래딩을 증착하여 굴절률 감지 방식에 의하여 측정될 대상물의 굴절률 변화에 무관하게 동작할 수 있도록 하였으며, 이를 실험적으로 확인하였다.

II. 제안된 온도센서의 동작원리 및 설계

제안된 폴리머 마이크로링 공진기 기반 온도센서의 구조가 그림 1에 도시되어 있다. 이 온도센서는 실리콘 기판 위에 형성된 입출력용 폴리머 직선 버스 도파로와 링 도파로가 서



• $n_{co} = 1.430$	• $R = 250 \mu\text{m}$	• $W = 3 \mu\text{m}$
• $n_{cl} = 1.375$	• $H_u = 1 \mu\text{m}$	• $H = 2 \mu\text{m}$
	• $H_l = 10 \mu\text{m}$	• $G = 0.8 \mu\text{m}$

(b)

그림 1. 제안된 폴리머 링 공진기 기반 온도센서의 (a) 구성도 (b) 단면도.

[†]E-mail: slee@kw.ac.kr

로 수평으로 결합된 구조를 갖는다. 입력포트에 입사된 광신호는 버스를 따라 전송되며 신호의 일부는 링으로 결합된다. 링을 따라 반복적으로 진행되는 광신호는 입력 신호와 간섭을 일으키며, 이로 인하여 출력 단에서는 주기적인 대역저지 필터 특성이 얻어진다. 이 때 주기는 FSR(free spectral range), 공진파장은 $\lambda_c = n_{eff}L/m$ 로 주어진다. 여기서 n_{eff} 는 링 도파모드의 유효굴절률이고, L 은 링의 둘레 길이이며, m 은 정수이다.^[4]

온도 변화에 따른 링 공진기의 공진파장 이동은 도파로용 폴리머 물질의 열광학효과 및 팽창효과에 의한 링 도파로 도파모드의 유효굴절률 변화와 열팽창효과(thermal expansion effect)와 열인장효과(thermal strain effect)에 의한 링 길이 변화에 기인한다. 폴리머 물질이 등방성이고 도파로 층이 기판에 비해 매우 얇은 경우, 온도 변화에 의한 공진파장의 이동 $\Delta\lambda$ 는 다음의 식 (1)~(3)을 통해 구할 수 있다.^[12]

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_N &= \frac{\Delta n_T}{n_{eff}} \lambda_C + \frac{\Delta n_S}{n_{eff}} \lambda_C \\ &= \frac{1}{n_{eff}} \left(\frac{dn}{dT} \Delta T \right) \lambda_C + C(\alpha_W - \alpha_S) \Delta T \lambda_C \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $\Delta n_T = \frac{dn}{dT} \Delta T$ 이고, $\Delta n_S = C(\alpha_W - \alpha_S)n_{eff} \Delta T$ 이다.

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_E &= \frac{\Delta L_T}{L} \lambda_C + \frac{\Delta L_S}{L} \lambda_C = \\ \alpha_W \Delta T \lambda_C + (\alpha_S - \alpha_W) \Delta T \lambda_C &= \alpha_S \Delta T \lambda_C \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= \Delta\lambda_N + \Delta\lambda_E = \frac{1}{n_{eff}} \frac{dn}{dT} \Delta T \lambda_C + \\ C(\alpha_W - \alpha_S) \Delta T \lambda_C &+ \alpha_S \Delta T \lambda_C \end{aligned} \quad (3)$$

먼저, 링 도파모드의 유효굴절률 변화로 인한 공진파장의 이동 성분 $\Delta\lambda_N$ 은 식 (1)로 표현된다. 여기서 ΔT 는 온도 변화, Δn_T 와 Δn_S 는 각각 열광학효과와 팽창효과로 인한 도파모드의 유효굴절률 변화를 나타낸다. 그리고 α_W 는 폴리머의 열팽창계수, α_S 는 실리콘 기판의 열팽창계수, $\frac{dn}{dT}$ 는 폴리머의 열광학계수이고, C 는 폴리머의 팽창계수(photoelastic coefficient)로써 $C = (C_1 + C_2)E/n_{eff}$ 로 주어지며, 여기서 C_1 과 C_2 는 폴리머의 팽창상수(photoelastic constant)이고, E 는 폴리머의 탄성계수(Young's modulus)이다. 다음으로 링 길이 변화로 인한 공진파장의 이동 성분 $\Delta\lambda_E$ 는 식 (2)로 주어진다. 여기서 ΔL_T 와 ΔL_S 는 각각 열팽창효과와 열인장효과로 인한 링 길이의 변화를 나타낸다. 최종적으로 주변 온도 변화로 인한 공진기의 공진파장 이동은 식 (3)으로 주어지는데, 기판의 열팽창계수가 충분히 작은 경우에 공진파장의 이동은 대부분 폴리머의 열광학효과에 의존함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 실리콘 기판 위에 열광학계수가 큰 폴리머를 이용하여 센서 소자를 구현하였다.

그림 1(b)에는 설계된 센서 소자의 구조가 나타나 있다. 코어와 클래딩용 폴리머의 굴절률은 1550 nm 파장대역에서 각각 $n_{co} = 1.430$ 과 $n_{cl} = 1.375$ 이고, 이들 간의 굴절률 대비는 3.8%였다. 그리고 링과 버스 도파로의 폭과 높이는 단일 모드만을 도파시키기 위해 각각 $W = 3 \mu\text{m}$ 와 $H = 2 \mu\text{m}$ 로 결정되었으며, 단일 도파모드의 유효굴절률은 빔전파방법을 이용하여 $n_{eff} = 1.401$ 로 계산되었다. 링 반지름은 벤딩손실이 1 dB/mm이하가 되도록 하기 위해 빔전파방법 시뮬레이션 툴인 BeamPROP(미국 Rsoft사)을 이용한 계산을 통하여 $R = 250 \mu\text{m}$ 로 선택하였다. 그리고 계산된 벤딩손실과 결합영역에서의 결합계수를 전달매트릭스 방법에 적용하여 링 공진기의 전달특성을 분석하여^[13], 링과 버스 간의 간격을 $G = 0.8 \mu\text{m}$ 로 결정하였다. 마지막으로 도파로의 하부클래딩 및 상부클래딩의 두께는 각각 $H_b = 10 \mu\text{m}$, $H_u = 1 \mu\text{m}$ 로 결정하였다.

설계된 센서 소자의 성능을 위 식 (1)~(3)을 통하여 계산하였다. 이 때 고려된 설계 파라미터를 살펴보면, 폴리머 물질의 열광학계수는 $\frac{dn}{dT} = -1.8 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$, 팽창계수는 $C = \sim 8 \times 10^{-2}$, 열팽창계수는 $\alpha_W = \sim 250 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ^[14]였으며, 실리콘 기판의 열팽창계수는 $\alpha_S = \sim 2.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 였다. 이로부터 온도 변화에 따른 공진파장의 이동으로 정의되는 센서의 감도는 $-163 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 로 계산되는데, 이것은 열광학효과 ($-198 \text{ pm}/^\circ\text{C}$), 팽창효과 ($31 \text{ pm}/^\circ\text{C}$), 열팽창효과 ($4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$)의 기여로 구분될 수 있다. 이로부터 폴리머의 열광학효과가 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

III. 온도센서의 제작 및 특성 측정

제안된 폴리머 온도센서는 그림 2에 도시된 바와 같이 PLC(planar lightwave circuit)용 공정을 도입하여 제작되었다. 먼저 실리콘 기판 위에 Chemoptics사의 LFR-S708U($n=1.375$) 폴리머를 스핀코팅하여 하부클래딩을 형성하였다. 다음으로 리소그래피(lithography) 공정을 이용하여 포토레지스트(photoresist) 상에 도파로 패턴을 형성한 후, 식각 공정을 통해 하부클래딩층

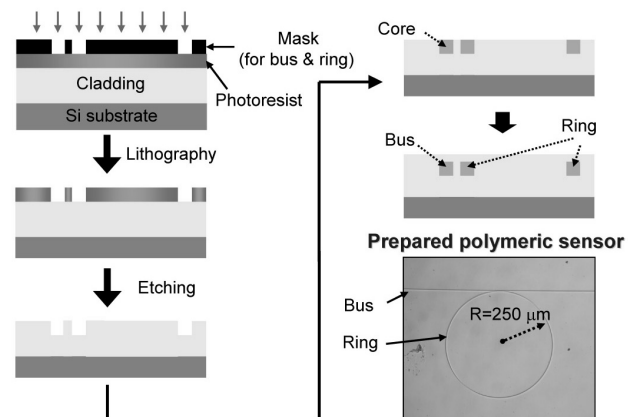


그림 2. 센서 제작과정.

으로 도파로 패턴을 전사하였다. 그리고 ZPU13-430($n=1.430$) 폴리머를 스피코팅하여 직선 버스와 링 도파로의 코어를 형성하였으며, 다시 LFR-S708U를 스피코팅하여 상부클래딩을 형성하였다. 마지막으로 효과적인 광 결합을 위해 입출력 단면을 절단하고 연마 공정을 수행하여 소자를 완성하였다. 완성된 소자의 크기는 $8 \times 1.2 \text{ mm}^2$ 였고, 관련 현미경 사진이 그림 2에 나타나 있다.

제작된 센서의 성능을 조사하기 위해 파장가변 광원, 광파워미터, 편광조절기, k형 써모미터(thermometer), 써모커플(thermocouple), 온도조절기(TEC: thermoelectric cooler)가 내장된 소자 홀더 등을 이용하여 그림 3과 같은 측정장치를 구성하였다. 먼저 제작된 소자의 광 전달특성을 조사하기 위해 상온(25°C)에서 TM(transverse magnetic) 편광과 TE(transverse electric) 편광에 대한 입력 광의 파장에 따른 출력 광파워를 측정하였다. 그림 4에는 TM 편광에 대한 광전달 특성이 나타나있다. 1550 nm 파장 대역에서 TM 편광에 대한 FSR은 1.02 nm , 대역폭은 0.15 nm , 이에 따른 Q 값은 $\sim 10,000$ 이었고, TE 편광에 대해서는 FSR은 1.02 nm , 대역폭은 0.18 nm , Q 값은 ~ 8500 이었다. TM과 TE 편광 특성이 다른 이유는 도파로의 모양이 비대칭($3 \times 2 \mu\text{m}^2$)이기 때문으로 사료된다. 측정 결과로부터 제작된 폴리머 공진기 소자는 예상대로 적절한 대역저지 필터로 동작함을 확인하였다.

다음으로 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 의 온도 범위에서 제작된 소자의 온도센서로서의 성능을 알아보았다. TEC에 의하여 온도가 정밀하게 제어되는 소자 홀더에 센서 소자를 고정시키고 온도

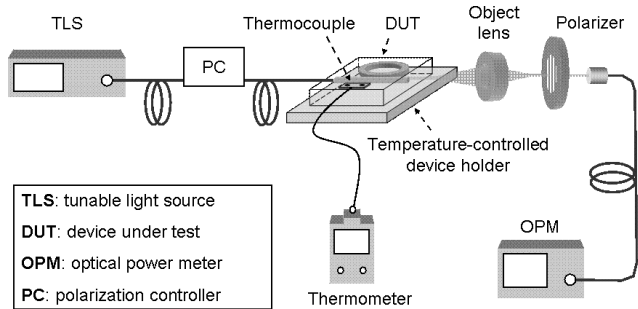


그림 3. 측정 장치.

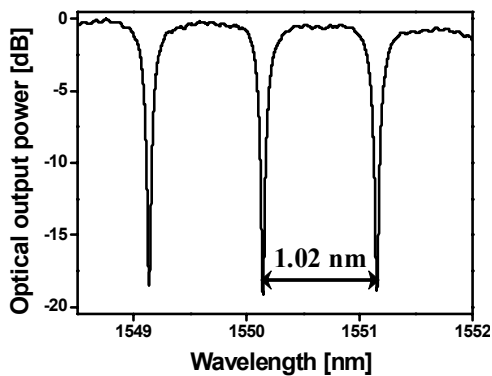
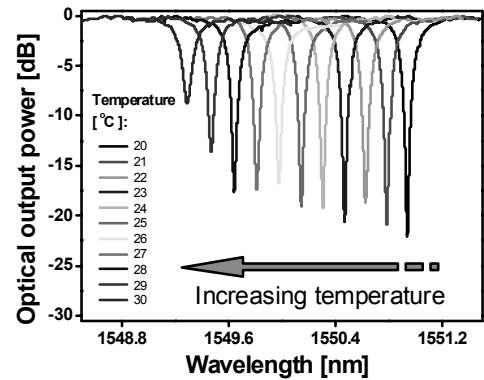
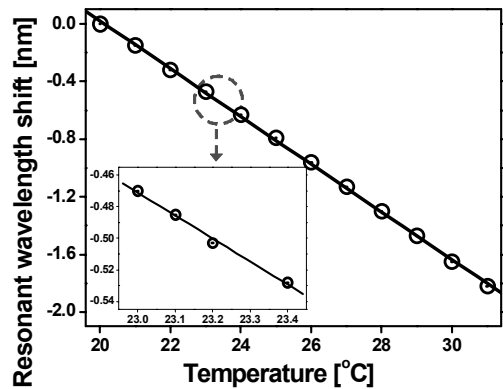


그림 4. 상온에서 측정된 공진기 소자의 광전달특성.

를 변화시켰으며, 소자 표면의 온도변화를 써모미터로 실시간으로 측정하여, 소자표면의 온도가 안정화 되기를 기다린 후에 소자의 광특성을 측정하였다. 이 때, 측정용으로 사용된 써모미터의 온도 분해능과 정확도는 각각 0.1°C 와 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 였으며, 소자 홀더에서의 온도 조절 분해능 및 정확도는 각각 0.01°C 와 0.1°C 였다. 그림 5(a)와 5(b)에는 TM 편광에 대한 온도 변화에 따른 센서의 전달특성 변화와 공진파장의 이동이 각각 나타나 있다. TM 편광에 대해 온도가 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 범위에서 변할 때 공진파장은 $1550.93 \text{ nm} \sim 1549.28 \text{ nm}$ 범위에서 선형적으로 변화하였고, 이를 통해 얻어진 센서의 감도는 약 $-165 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 였다. 그리고 TE 편광의 경우에는 $-162 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 의 센서 감도를 얻었으며, 이것은 앞에서 예측된 값($-163 \text{ pm}/^\circ\text{C}$)과 잘 일치함을 확인하였다. 이 결과로부터 제작된 센서는 기존의 유전체 기반 센서의 감도 $22.6 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 에 비해 매우 우수한 감도를 가짐을 확인하였다.^[12] 이는 소자 제작에 사용된 폴리머의 열광학계수가 실리카(SiO_2)와 비교하여 매우 크기(~ 10 배 이상) 때문이다. 또한 그림 5(b)에 삽입된 그림으로부터 알 수 있듯이, 제작된 센서는 0.1°C 의 온도 변화에 대해서도 선형성을 잘 유지하였으며, 이로부터 센서의 온도분해능은 0.1°C 이하임을 확인하였다. 그리고 측정된 센서의 감도 $-165 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 와 광원의 파장분해능 $\sim 10 \text{ pm}$ 를 고려할 때,

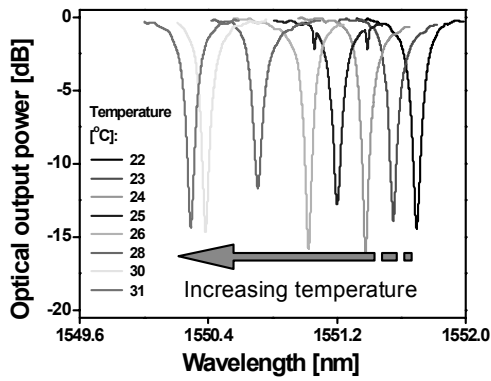


(a)

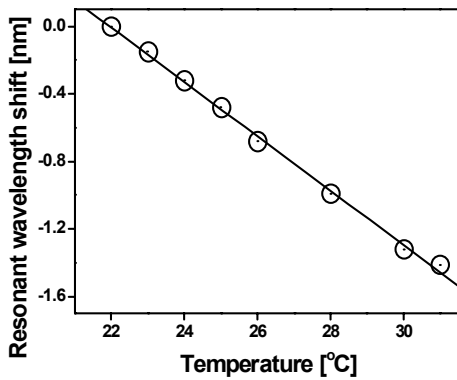


(b)

그림 5. 온도 변화에 따른 온도센서의 특성 변화 (a) 전달특성 변화 (b) 공진파장 이동.



(a)



(b)

그림 6. 순수 수용액이 존재하는 경우에 온도센서의 특성측정 결과 (a) 전달특성 변화 (b) 공진파장 이동.

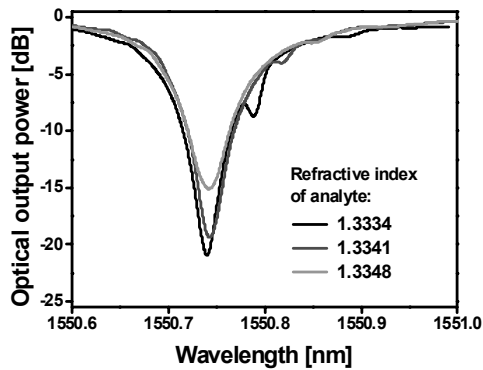


그림 7. 상온에서 측정된 분석대상 수용액의 굴절률 변화에 따른 온도센서의 전달특성.

온도분해능이 $\sim 0.06^\circ\text{C}$ 까지 향상될 수 있을 것으로 사료된다.

다음으로 구현된 온도센서가 굴절률 감지 방식의 다른 광센서와 집적되어 온도 변화에 따른 오차를 효과적으로 보상할 수 있는가를 조사하였다. 본 논문에서는 개발된 온도센서가 집적될 센서로서 글루코스 물질이 첨가된 수용액의 굴절률을 검출하는 굴절률 감지 센서를 고려하여 실험하였다.^[7] 이 경우에, 제작된 온도센서의 성능은 표면에 존재하는 수용액의 굴절률 변화에 무관해야 한다. 센서 표면이 분석대상물

인 수용액이 존재하는 경우에 제작된 온도센서의 동작 특성을 보기 위해, 먼저 소자의 표면을 DI water($n = 1.3334$)로 덮은 후 글루코스(혈당) 센서가 주로 사용되는 상온 근처의 온도 범위($22^\circ\text{C} \sim 31^\circ\text{C}$)에서 TM 편광의 전달특성을 측정하였으며, 그 결과가 그림 6에 나타나 있다. 개발된 소자는 수용액이 존재하는 경우에도 선형적인 특성을 갖는 온도센서로서 잘 동작함을 확인하였으며, 이 때 얻어진 센서의 감도는 약 $-161 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 였다. 다음으로 분석대상물의 굴절률 변화가 온도센서의 전달특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 상온(25°C)에서 수용액의 굴절률을 $1.3334 \sim 1.3348$ 범위로 변화시키면서 온도센서의 특성을 측정하였다. 그림 7에서 알 수 있듯이, 온도센서의 공진파장 이동 특성이 수용액의 굴절률 변화에 거의 무관하였다. 결과적으로 제작된 온도센서는 굴절률 감지방식의 센서에 집적될 경우에 온도에 의한 오차 보상을 센서로 적절하게 동작할 수 있을 것으로 사료된다. 한편, $-1.5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C} \sim -5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 의 큰 열광학계수를 갖고 200°C 정도에서도 안정된 특성을 보이는 폴리머에 대한 보고가 있었고,^[11] 본 논문에서 사용된 폴리머는 온도에 따른 굴절률 변화가 약 120°C 까지 선형적인 특성을 갖고, 유리전이 온도(glass transition temperature(T_g)) 값이 $\sim 140^\circ\text{C}$ ^[14]이기 때문에 링의 반경을 줄여 공진기의 FSR을 증가시킴으로써 온도 측정범위를 효과적으로 확장할 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 제작된 온도센서는 측정범위가 증가됨으로써 수온이나 대기의 온도를 측정하는 등의 고온 또는 저온의 온도 대역에서도 응용될 수 있을 것이다. 또한, 전력설비 시설의 사고 방지를 위한 센서, 전자기기나 전자회로의 이상을 감지하는 센서 등 전자기간섭이 많은 곳에 응용 될 수 있을 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 실리콘 기판 위에 열광학효과가 큰 폴리머를 이용하여 만들어진 링 공진기 기반의 집적광학형 온도센서를 제안하고 구현하였고, 온도 변화에 대한 높은 감도를 얻었다. 얻어진 센서의 감도는 약 $-165 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, 온도분해능은 0.1°C 이하였다. 또한, 이 센서는 표면에 굴절률 감지방식에 의해 측정되는 분석대상물이 존재하는 경우에도 영향을 받지 않고 잘 동작함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 「서울시 산학연 협력사업」의 신기술 지원사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고논문

[1] R. G. Heideman and P. V. Lambeck, “Remote opto-chemical sensing with extreme sensitivity: design, fabrication and performance of a pigtailed integrated optical phase-modulated Mach-Zehnder interferometer system,” *Sens. Actuators B*,

- Chem.*, vol. 61, no. 1, pp. 100-127, 1999.
- [2] P. Adam, J. Dostalek, and J. Homola, "Multiple surface plasmon spectroscopy for study of biomolecular systems," *Sens. Actuators B, Chem.*, vol. 113, no. 2, pp. 774-781, 2006.
- [3] A. Brandenburg, "Differential refractometry by an integrated-optical Young interferometer," *Sens. Actuators B, Chem.*, vol. 39, no. 1, pp. 266-271, 1997.
- [4] C. Y. Chao, W. Fung, and L. J. Guo, "Polymer microring resonators for biochemical sensing applications," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, vol. 12, no. 1, pp. 134-142, 2006.
- [5] A. Yalcin, K. C. Papat, J. C. Aldridge, T. A. Desai, J. Hryniewicz, N. Chbouki, B. E. Little, O. King, V. Van, S. Chu, D. Gill, M. Anthes-Washburn, M. S. Unlu, and B. B. Goldberg, "Optical sensing of biomolecules using microring resonators," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, vol. 12, no. 1, pp. 148-155, 2006.
- [6] K. D. Vos, I. Bartolozzi, E. Schacht, P. Bienstman, and R. Baets, "Silicon-on-insulator microring resonator for sensitive and label-free biosensing," *Opt. Exp.*, vol. 15, no. 12, pp. 7610-7615, 2007.
- [7] 김건덕, 손근식, 이학순, 김기도, 이상신, "수직형 폴리머 마이크로링 공진기 기반의 글루코스 바이오 센서," *한국광학회지*, 제19권, 제2호, pp. 127-131, 2008.
- [8] Y. Liu, P. Hering, and M. O. Scully, "An integrated optical sensor for measuring glucose concentration," *Appl. Phys., B* 54, pp. 18-23, 1992.
- [9] S. L. Tsao, P. C. Peng, and S. G. Lee, "A novel MMI-MI SOI temperature sensor," in *Proc. 13th Ann. Meeting IEEE Lasers and Electro-Optics Society*, Rio Grande, Puerto Rico, Nov. 13-16, 2000, vol. 2, pp. 464-465, Paper WH5.
- [10] A. Irace and G. Breglio, "All-silicon optical temperature sensor based on multi-mode interference," *Opt. Exp.*, vol. 11, no. 22, pp. 2807-2812, 2003.
- [11] M. Remouche, R. Mokdad, A. Chakari, and P. Meyrueis, "Intrinsic integrated optical temperature sensor based on waveguide bend loss," *Optics & Laser Technology*, vol. 39, no. 7, pp. 1454-1460, 2007.
- [12] X. Zhang and X. Li, "Design, fabrication and characterization of optical microring sensors on metal substrates," *J. Micro-mech. Microeng.*, vol. 18, no. 1, 015025(7pp), 2008.
- [13] A. Yariv, "Universal relations for coupling of optical power between microresonators and dielectric waveguides," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 4, pp. 321-322, 2000.
- [14] ZPU and LFR polymers are available from ChemOptics Co., Republic of Korea. Available: <http://chemoptics.co.kr>.

Highly Sensitive Integrated Photonic Temperature Sensor Exploiting a Polymeric Microring Resonator

Hak-Soon Lee, Gun-Duk Kim, and Sang-Shin Lee[†]

Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University 447-1 Wolgye-Dong, Nowon-Gu, Seoul 139-701, Republic of Korea

[†]*E-mail: slee@kw.ac.kr*

(Received May 2, 2008; Revised manuscript June 10, 2008; Accepted June 11, 2008)

A highly sensitive integrated photonic temperature sensor was proposed and developed incorporating a polymeric microring resonator. The change in the ambient temperature was estimated by observing the shift in the resonant wavelength of the resonator induced via the thermo-optic effect. For the purpose of enhancing its sensitivity, the sensor was built by implementing a polymeric resonator exhibiting a high thermo-optic coefficient on a silicon substrate with a small coefficient of thermal expansion. For the range of from 20°C to 30°C near the room temperature, the fabricated sensor yielded a sensitivity of as high as 165 pm/°C and a resolution of better than 0.1°C. And its performance was found to be hardly affected by the variation in the refractive index of the target analyte, which was applied to the surface of the sensor. It is hence expected that the sensor could be integrated with other refractometric optical sensors, thereby compensating for the fatal error caused by the change in the ambient temperature.

OCIS codes: (160.5470) Polymers; (140.4780) Optical resonators; (130.6010) Sensors; (230.3120) Integrated optics devices