

액정 장주기 격자의 편광 특성

백승인*, 정윤찬, 강진구, 이병호
서울대학교 전기공학부

Polarization-Dependent Property of Long-Period Liquid Crystal Fiber Gratings

Seungin Baek*, Yoonchan Jeong, Jingu Kang, and ByoungHo Lee
School of Electrical Engineering, Seoul National University

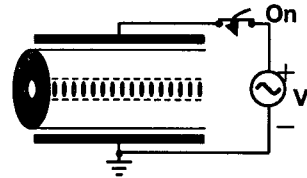
Abstract - 최근 액정을 주입한 속이 빈 광섬유 (Hollow fiber) 와 주기적인 전극을 이용하여 전기적으로 제어 가능한 장주기 격자에 대해서 보고된 바 있다. 액정의 중요한 특성 중의 하나는 그 광축이 외부의 전기장에 의해 동적으로 재배열된다는 점이다. 또한 액정은 광축에 따라 굴절률이 다른 비등방성 물질이기 때문에 광축의 배열에 따라, 그리고 입사하는 빛의 편광에 따라 그 빛이 느끼는 굴절률이 달라지게 된다. 본 논문에서는 입사하는 빛의 편광에 따른 액정 장주기 광섬유 격자의 특성에 대해 연구하였다. 주기적인 전극의 길이는 3 cm 이고 주기는 500 μm 이다. 액정을 주입한 속이 빈 광섬유의 길이는 15 mm 이다. 입사하는 빛이 이상 (extraordinary) 편광 상태일 때 약 6 dB 의 투과 손실을 나타냈으며 그 대역폭은 약 15 nm 이었다. 이 때 외부에서 인가한 전압은 150 V 였다. 입사하는 빛이 정상 (ordinary) 편광 상태일 때에는 액정의 유효 굴절률이 외부 전기장에 대해 변하지 않기 때문에 장주기 투과 특성을 얻을 수 없었다.

1. 서 론

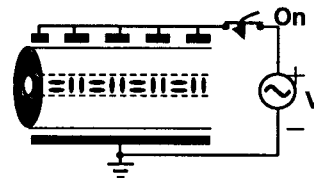
광통신 시스템이 발달함에 따라 특성 변환이 가능한 수동 소자의 필요성이 대두되고 있다. 최근, 액정은 소자를 전기적으로 조절하기 위한 소재로서 자주 사용되고 있다. 또한 물리적인 측면과 광학적 측면에서 액정의 편광 특성이 많은 관심을 받고 있다. 액정의 중요한 특성 중의 하나는 외부에서 인가되는 장 (field) 에 대한 액정 결정의 재배열이다. 즉, 외부에서 장이 인가되면 액정의 분자 배열은 자유 에너지가 최소가 되도록 재배열하게 된다.^[1] 그런데, 액정은 광축의 방향에 따라 입사하는 빛이 느끼는 굴절률이 달라지게 되는 비등방성 물질이다. 이러한 액정의 비등방성에 의해 외부에서 인가되는 장의 방향에 따라 액정의 광축이 변함으로써 액정을 투과하는 빛이 편광 특성을 나타내게 된다.

2. 본 론

그림 1은 속이 빈 광섬유 (hollow fiber) 의 코어 부분에 액정을 주입하고 전극을 통하여 전기장을 인가한 소자의 모형도이다. 일반적으로, 코어 영역에서의 네마틱 액정의 배열은 액정과 모세관 경계의 상호작용에 의해 결정된다. 일반적인 실리카 광섬유에서 네마틱 액정은 광섬유의 축 방향으로 배열한다.^[1] 외부에서 장이 인가되지 않고 초기의 액정 배열이 유지된 상태에서 빛이 입사하면 액정을 투과하는 빛은 액정의 정상 굴절률 (an ordinary refractive index, n_o) 을 느끼게 된다. 이 때 그림 1(a)와 같이 외부에서 광섬유 축에 수직한 방향으로 전기장이 인가되면 액정의 광축이 외부 전기장의 방향으로 재배열된다. 외부 전기장에 대한 액정 광축의 이러한 재배열은 액정 교유의 성질이다. 이렇게 외부 전기장이 인가한 상태에서 외부 전기장 방향과 동일한 방향의 편광 상태 - 이러한 편광을 이상 편광 상태 (an extraordinary



(a)



(b)

그림 1. 액정을 주입한 속이 빈 광섬유. 전극의 모양에 따라 액정에 동일한 전기장 (a) 또는 주기적인 전기장 (b)을 인가할 수 있다.

polarization state) 라 하겠다. - 의 빛이 입사하면, 액정을 투과하는 빛은 액정의 이상 굴절률 (an extraordinary refractive index, n_e) 을 느끼게 된다. 반면, 외부 전기장 방향과 수직한 방향 - 이러한 편광을 정상 편광 상태 (an ordinary polarization state) 라 하겠다. - 의 빛이 입사하면 외부 전기장이 강하게 인가되었다 하더라도 액정을 투과하는 빛은 굴절률의 변화의 느끼지 않고 액정의 정상 굴절률을 느끼게 된다. 액정의 비등방성에 의해 이와 같은 편광 특성을 나타내게 되는 것이다.^{[2],[3]}

그림 1(b)는 장주기 액정 광섬유 격자의 모형도이다. 그림 1(b)와 같이 주기적인 전극을 사용함으로써 주기적으로 분포된 전기장을 인가할 수 있다. 주기적으로 분포된 전기장을 인가하면, 전기장이 인가된 부분에서만 액정의 광축이 재배열하게 되어 결과적으로 액정 광축의 주기적인 분포가 형성된다. 이러한 상태에서 이상 편광 상태의 빛이 액정을 통과하면 액정의 광축이 재배열된 부분에서만 이상 굴절률을 느끼게 된다. 즉, 주기적인 액정 광축의 배열에 따라 이상 굴절률과 정상 굴절률을 반복적으로 느끼게 되어 결과적으로 주기적인 굴절률 변조를 느끼게 된다. 그러므로 입사하는 빛이 주기적으로 배열된 액정을 지날 때 일반적인 장주기 광섬유 격자와 같이 회절이 일어나게 되는 것이다. 따라서, 전기적으로 조절이 가능한 장주기 격자를 얻을 수 있다. 반면, 정상 편광 상태의 빛이 입사할 경우 앞에서 설명한 바와 같이 외부에서 주기적인 전기장이 인가된다 하더라도 입사하는 빛은 액정 광축의 배열에 상관없이 정상 굴절률만을 느끼게 되어 굴절률의 변화를 느끼지 않는다. 따라서, 이

상 편광 상태의 빛이 진행할 때 일어나는 회절 현상은 발생하지 않는다.

지금까지 설명한 바와 같이 하여, 그림 1(b)와 같은 소자를 이용하여 입사 빛의 편광 상태에 따라 상이한 결과를 나타내는, 전기적으로 조절 가능한 장주기 광섬유 격자를 얻을 수 있는 것이다.

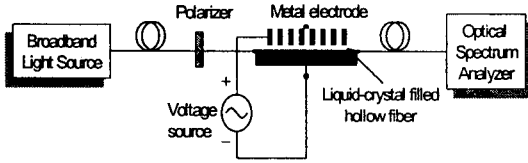
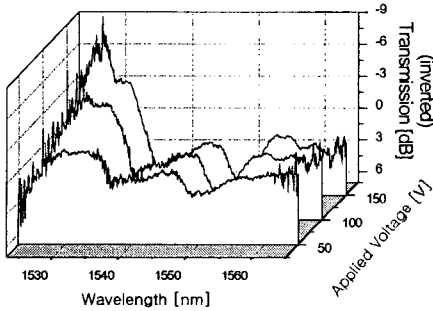
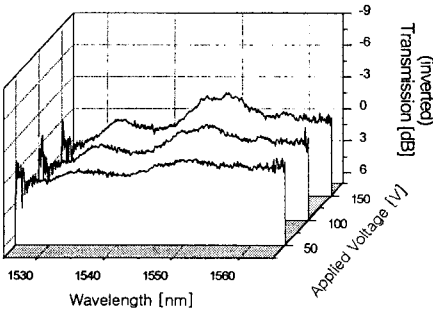


그림 2. 장주기 액정 광섬유 격자의 편광 특성 측정을 위한 실험 장치.



(a)



(b)

그림 3. 장주기 액정 광섬유 격자의 투과 스펙트럼. (a)와 (b)는 각각 입사하는 빛이 이상 편광 상태와 정상 편광 상태일 때의 투과 스펙트럼이다.

그림 2는 장주기 액정 광섬유 격자의 편광 특성을 측정하기 위한 실험 장치의 모형도이다. 실험에 사용한 액정은 ZLI- 5079 (E. Merck 사 제공) 이다. 589 nm 파장대역에서의 액정 굴절률은 정상 굴절률과 이상 굴절률이 각각 $n_o = 1.4716$ $n_e = 1.5478$ 이다. 액정은 보통 디스플레이 장치에 사용되기 때문에 액정 제조사에서는 가시광선 영역의 굴절률 데이터만을 제공한다. 이러한 액정을 속이 빈 광섬유의 코어 영역에 삽입한다. 액정이 삽입된 속이 빈 광섬유의 길이는 15 mm 이다. 외부에서 전기장을 인가하기 위하여 교류 전원 장치와 금속 전극

을 이용하였다. 교류 전원 장치는 0 볼트에서 3000 볼트까지 전원을 공급할 수 있으며 주파수는 60 Hz 이다. 금속 전극은 주기적으로 패터닝되어 있으며 그 주기는 500 μm 이고 전극의 총 길이는 3 cm 이다. 광대역 빛 발생 장치로는 어블 첨가 광섬유 증폭기 (EDFA, Erbium-Doped Fiber Amplifier) 를 사용하였으며 모니터링을 위하여 광 스펙트럼 분석기 (OSA, Optical Spectrum Analyzer) 를 사용하였다. 광섬유 증폭기에서 발생하는 빛은 편광되지 않은 빛, 즉 모든 편광 상태가 동시에 존재하는 빛이기 때문에 편광관을 이용하여 입사하는 빛의 편광 상태를 선택한다.

그림 3은 입사하는 빛의 편광 상태에 따른 액정 광섬유 격자의 투과 스펙트럼을 인가된 전압에 따라 나타낸 것이다. 그림 3(a)와 그림 3(b)는 각각 입사하는 빛이 이상 편광 상태일 때와 정상 편광 상태일 때의 스펙트럼이다. 입사하는 빛이 이상 편광 상태일 때에는, 주기적인 외부 전기장에 의해 재배열된 액정의 광축에 의해 형성된 굴절률 변조의 결과로써 회절이 발생한다. 회절의 중심 파장은 약 1530 nm 이고 150 볼트의 전압을 인가하였을 때 약 6 dB 의 변조 깊이 (modulation depth) 를 보였다. 반면, 입사하는 빛이 정상 편광 상태일 때에는 액정 광축이 재배열해도 굴절률의 변화를 느끼지 않으므로 회절이 일어나지 않는다.

3. 결 론

지금까지 전기적으로 조절 가능한 장주기 액정 광섬유 격자의 편광 특성에 대하여 고찰하였다. 이 소자는 동적 이득 평탄화 필터로 응용할 수 있으며 편광에 따른 투과 스펙트럼의 상이한 특성을 이용하여 편광 의존 손실 (PDL, Polarization-Dependent Loss) 보상으로 사용할 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] I.-C. Khoo, Liquid Crystals, New York: Wiley, 1994
- [2] Y. Jeong, B. Yang, B. Lee, H. S. Seo, S. Choi and K. Oh, "Electrically controllable long-period liquid crystal fiber grating," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, pp. 519-521, 2000.
- [3] Y. Jeong and B. Lee, "Theory of electrically controllable long-period gratings built in liquid-crystal fibers," Opt. Eng., vol. 40, pp. 1227-1233, 2001.