

액정 클래딩을 가진 식각된 장주기 광섬유 격자의 전기적 변조

Electrical Modulation of an Etched Long-Period Fiber Grating with a Liquid-Crystal Cladding

정윤찬, 김학린, 백승인, 김용현, 이용욱, 이병호*, 이신두**

서울대학교 전기공학부

byounho@plaza.snu.ac.kr*, sidlee@plaza.snu.ac.kr**

광통신 시스템의 발달로 보다 유연한 특성을 갖는 수동 광소자의 개발에 대한 요구가 대두되고 있다. 최근 가변 장주기 광섬유 격자에 대한 연구가 보고된 바 있는데, 이것은 액정의 방향자를 전기적으로 조절하는 방법을 이용한다.^{(1),(2)} 여기에서 액정 물질은 광섬유의 코어 및 클래딩 영역에 위치할 수 있다. 액정의 광학적 특성은 방향자의 배향에 의존하는데, 다시 말해서, 액정 광축의 방향에 따라 액정의 광파에 대한 유효 굴절률이 정해진다. 이러한 소자는 광대역 광증폭기의 이득 평탄화 필터나 편광 의존 손실 보상기 등에 응용될 수 있다. 장주기 광섬유 격자의 대역 투과 억제 성질은 격자 구조에 의한 광섬유 코어 모드와 클래딩 모드 사이의 결합에 근거하고 있다.⁽³⁾ 사실, 광섬유의 클래딩 굴절률과 외부 물질 굴절률의 대소 관계에 따라 클래딩 모드는 도파 혹은 손실 모드가 된다. 어느 경우에서도 클래딩 모드는 외부 섭동, 즉, 광섬유의 재킷 코팅이나 광섬유의 구부러짐 등에 손실되기 쉽기 때문에 긴 거리를 도파할 수 없다. 그 결과, 장주기 광섬유 격자는 대역 투과 손실 필터로 작용을 한다.

본 논문에서는 식각된 장주기 광섬유 격자의 액정 클래딩에 의한 전기적 제어에 관하여 논하고자 한다. 여기에서는 화학적 식각을 통해 그 지름이 50 μm 로 감소된 단일 모드 광섬유를 사용하여 액정 클래딩 광섬유 격자의 변조도 및 안정성 향상을 유도하였다. 실험에서는 정상 굴절률(n_o)이 실리카 클래딩의 굴절률보다 큰 액정을 사용하였으므로 클래딩 모드는 손실 모드가 된다. 이 경우, 클래딩 모드는 클래딩과 외부 물질 경계면에서 전반사를 겪는 것이 아니라 Fresnel 반사를 겪게 된다. 이로 인해 도파 손실이 발생한다. 따라서, 클래딩과 외부 물질의 굴절률 차이는 클래딩 모드의 손실률을 결정하게 되므로, 장주기 광섬유 격자의 모드 결합 세기 또한 이것에 의존하게 된다.⁽⁴⁾ 초기에 네마틱 액정의 방향자가 광섬유 축방향으로 배향되어 있다고 하면, 이를 전파하는 광파에 대한 유효 굴절률은 액정의 정상 굴절률에만 의존하게 되나, 만약, 광섬유 축에 수직인 방향(그림 1(a) 참조)으로 전기장을 걸게 되면, 네마틱 방향자, 다시 말해서, 액정의 광축이 외부 전기장 방향으로 늘어 서게 된다. 광파의 편광 방향이 외부 전기장의 방향과 평행한 경우에 대해서는 액정의 유효 굴절률은 이상 굴절률($n_{e,eff}$)로 작용을 하게 되므로 $n_e > n_o$ 인 경우 외부 물질(액정)의 유효 굴절률은 증가하게 된다. 한편, 외부 전기장을 제거하였을 경우, 셀의 표면 배향력에 의해 네마틱 방향자의 배열의 초기 배향 상태로 돌아가게 된다. 결과적으로 외부 액정의 네마틱 방향자의 방향을 전기적으로 조절함으로써 장주기 광섬유 격자에서 광섬유의 코어 모드와 클래딩 모드의 결합 세기를 변조할 수 있게 된다. 반면, 외부 전기장 방향에 수직인 편광을 갖는 광파에 대해서는 액정의 유효 굴절률이 항상 정상 굴절률로 결정이 된다. 따라서, 액정 클래딩 장주기 광섬유 격자는 광파의 편광에 민감하게 작용을 하게 되므로, 광섬유의 편광 의존 손실 보상기에 응용될 수 있다.

실험에 있어서, 장주기 광섬유 격자는 일반적인 단일 모드 광섬유에 자외선 조사를 함으로써 제작하였는데, 격자 주기는 500 μm 이고 길이는 3 cm이다. 격자 제작 후, 장주기 광섬유 격자는 50 %의 HF용액을 사용하여 25분 동안 화학적으로 식각하여 그 지름을 50 μm 정도로 감소시켰다.⁽⁵⁾ 그리고 ITO(Indium Tin Oxide)가 증착된 두 개의 유리 기판에 수평 배향을 위해 PVA(Poly Vinyl Alcohol)를 스핀 코팅하였다. 셀 공극은 공간자를 사용하여 75 μm 로 유지하고 식각된 장주기 광섬유 격자는 배향 방향과 평행하게 셀의 중앙부에 위치 시켰다. 마지막으로 네마틱 액정(ZLI 1800-100, E. Merck)을 광섬유 축방향으로 삽입하였다. 사용된 액정의 기본 굴절률 값은 1550 nm의 광파에 대해 $n_o = 1.4661$ 및 $n_e = 1.5325$ 이다.

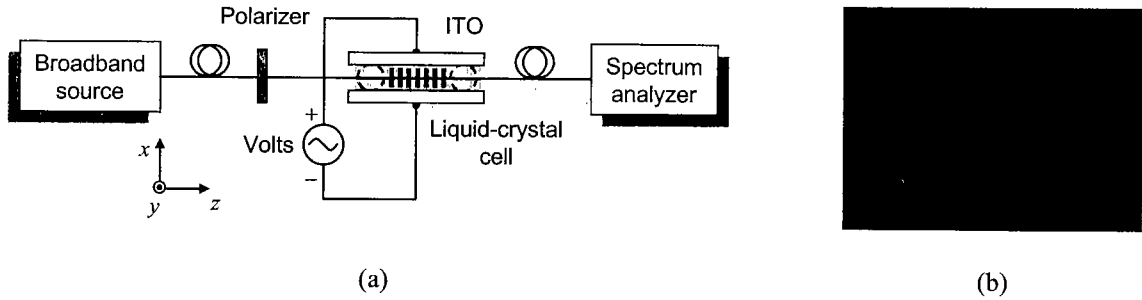


그림 1. (a) 실험 장치 구성도와 (b) 직교 편광기 사이의 액정 셀의 조직(texture) 영상 (0 V, 45 deg). 여기서 식각된 광섬유의 길이는 18 cm이고 광섬유 격자를 포함한 8.2 cm의 길이 부분이 액정 셀 내에 위치한다.

식각된 광섬유를 이용한 액정 클래딩 장주기 광섬유 격자 셀의 전압에 따른 투과 스펙트럼이 그림 2에 나타나 있다. 외부 전기장과 평행한 편광 상태의 광파에 대해서는 전압에 따라 장주기 광섬유 격자 내에서 코어 모드와 클래딩 모드의 결합 세기가 증가하게 되므로 장주기 광섬유 격자의 최대 손실도가 전압에 따라 증가함을 알 수 있다. 그러나, 외부 전기장과 수직인 편광 상태의 광파에 대해서는 전술한 바와 같이 최대 손실도 변화는 미약함을 알 수 있다. 약간의 변화는 광파의 편광 상태의 불완전성 및 광섬유의 외형 즉 원기둥 형태의 구조적인 면 등에 기인하는 것으로 생각된다.

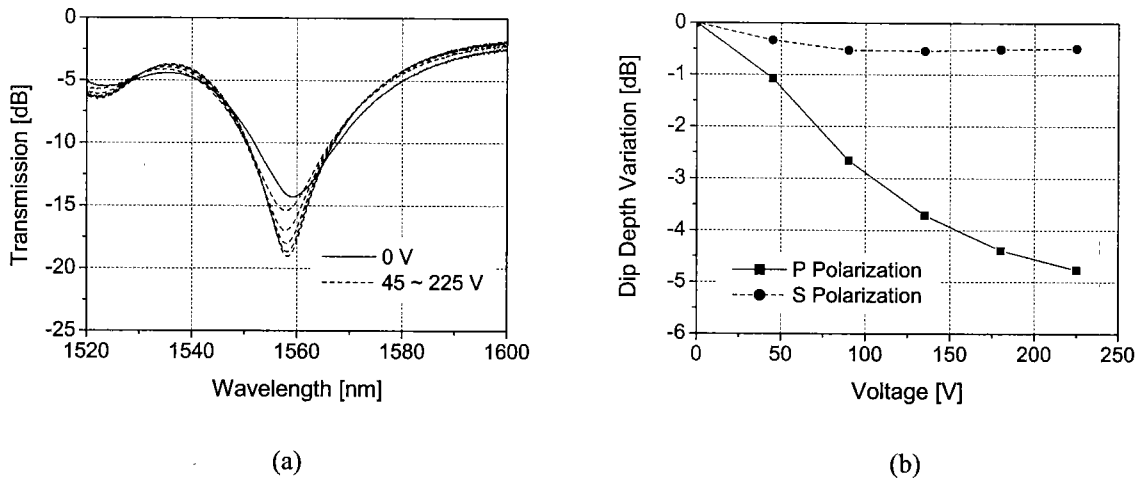


그림 2. 식각된 광섬유를 이용한 액정 클래딩 장주기 광섬유 격자 셀의 전압에 따른 투과 스펙트럼. (a) 전압에 따른 전체 스펙트럼과 (b) 최대 손실도의 전압에 따른 변화량. (여기서 P 및 S 편광은 각각 그림 1의 x축 및 y축 방향과 평행한 편광 상태를 말한다.)

References

1. O. Duhem, J. F. Heninot, M. Warengem, M. Douay, and L. Rivoallan, in Proc. 6th IEE Conference on Telecommunications (Conf. Publ. No. 451), pp. 195-197, 1998.
2. Y. Jeong, B. Yang, B. Lee, H. S. Seo, S. Choi, and K. Oh, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, pp. 519-521, 2000.
3. A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins, V. Bhatia, T. Erdogan, and J. E. Sipe, IEEE J. Lightwave Technol., vol. 14, pp. 58-65, 1996.
4. D. B. Stegall and T. Erdogan, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 11, pp. 343-345, 1999.
5. S. Kim, Y. Jeong, S. Kim, J. Kwon, N. Park, and B. Lee, Appl. Opt., vol. 39, pp. 2038-2042, 2000.