

Eu²⁺ ion이 첨가된 광섬유의 제조 및 Faraday 회전 특성

Fabrication of Eu²⁺-doped Fiber and its Faraday Rotation Characteristics

김덕현*, 김복현, 백운출, 한원택

광주과학기술원 정보통신공학과 특수광섬유 실험실

Tel: 062-970-2215, Fax: 062-970-2204, E-mail: wthan@kjist.ac.kr

Abstract

Eu²⁺ doped optical fibers were developed for magneto-optical application by use of CO gas as a reduction agent during MCVD process and the Verdet constant of the Eu²⁺ doped fiber was found to be $-0.819[\text{rad}/\text{T} \cdot \text{m}]$, which is three times larger than that of the Eu³⁺ doped fiber.

1. 서론

빛의 편광방향이 매질 안에서 외부자기장에 의해 회전하는 Faraday 효과는 자기장 및 전기장을 변화하여 빛의 편광과 관련한 소자로 응용이 가능하다. 유리내부에 Tb³⁺, Eu³⁺ 등의 희토류 이온이 함유될 경우 Faraday 효과가 발현되는 것으로 알려져 있으며, 특히 Eu³⁺ 이온이 환원된 형태인 Eu²⁺ ion이 함유될 경우 Faraday 효과가 증대된 것으로 보고된 바 있다.[1,2] 본 연구에서는 Eu²⁺ ion이 첨가된 광섬유를 제조하기 위하여 MCVD 공정 중 CO 가스를 환원제로 사용하여 Eu ion의 원자가 변화를 시도하였고, Eu²⁺ ion에 의한 광흡수 및 Faraday 회전에 미치는 영향을 측정하고 분석하였다.

2. 실험방법

광섬유의 제조를 위해 일반적인 MCVD 공정을 이용하였고, Eu ion은 Solution doping method를 사용하여 첨가하였다. 도핑용액은 EuCl₃ 0.097M과 AlCl₃-6H₂O 0.426M을 에탄올(Ethanol)200mL에 용해시켜 만들었고, 이 용액을 광섬유 모재의 다공성 코어 부분에 한시간 동안 함침하였다. Eu ion 원자가의 변화를 위하여 도핑용액이 함침된 광섬유 모재를 O₂를 넣지 않고 대신 내부에 CO 가스를 채운 뒤 환원분위기에서 소결하였다(광섬유1). 비교를 위해 Eu ion을 함침한 후 일반적인 O₂ 가스 분위기에서 소결한 광섬유도 제조하였다(광섬유2). 제조된 광섬유의 외경은 125mm, 내경은 광섬유1의 경우 14μm 이고 광섬유2의 경우는 8μm였다.

Cut back 방법과 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 이용하여 제조된 광섬유의 광흡수 특성을 측정하였다. Faraday 회전각의 측정을 위해서 자기장은 길이 71cm, 0.142T의 솔레노이드를 이용하여 인가하였고, 광원은 1310nm LED를 사용하였다. 광원을 먼저 선편광기에 통과시켜 선편광화하였으며, 측정하고자 하는 광섬유 1, 2를 각각 71 cm의 길이로 솔레노이드 내부에 설치한 다음 Faraday 회전각은 Polarimeter를 이용하여 측정하였다. 이때 광원에서 Polarimeter까지 광섬유의 굽힘에 의한 선형 복굴절의 영향을 최소한으로 하기 위하여 항상 광섬유가 직선을 유지하도록 유의하였다. 자기장은 0T에서 0.142T 까지 연속적으로 시간 지연 없이 증가시켰으며, 광섬유 1,2의 양단을 일반 단일 모드 광섬유와 융착하여 측정하였다.[2]

3. 실험 결과 및 토의

Eu이온이 함유된 광섬유 1, 2 및 상용되는 단일모드 광섬유의 광흡수 스펙트럼 결과를 [그림1]에 함께 나타내었다. CO 가스를 사용하지 않은 광섬유 2의 경우 490nm, 525nm, 그리고 573nm 부근에서 흡수 peak이 관찰되었고, 이는 Eu³⁺ ion에 의한 것이다.[3,4] 이에 반해 환원제로서 CO 가스를 사용한 광섬유 1에서는 광섬유 2의 경우와는 달리 Eu³⁺ ion의 흡수 peak으로 알려진 흡수 band의 대부분이 사라진 것을 발견하였으며, 이는 광섬유 제조 시 CO 가스로 인하여 Eu³⁺ ion의 대부분이 Eu²⁺ ion으로 환원

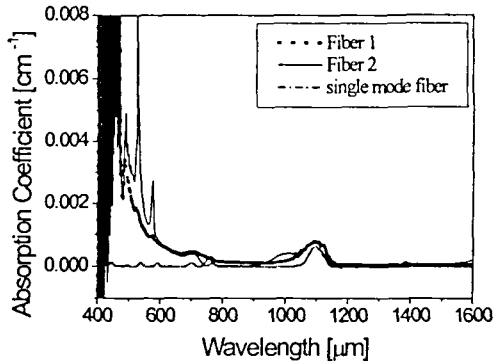


Fig1. Absorption spectrum of optical fiber

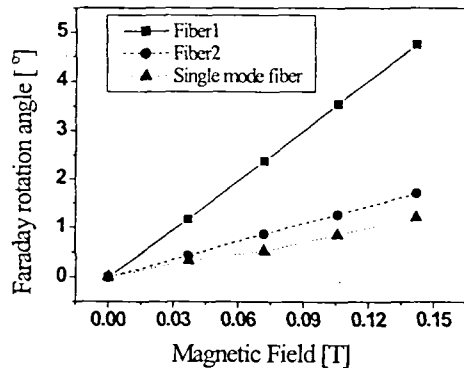


Fig2. Faraday rotation angle of the Eu doped optical fibers upon applied magnetic field

되었다는 것을 시사한다. 1100nm부근에서의 광흡수는 Cut-off 파장을 확인하기 위한 광섬유의 굵힘에 의한 효과에 의한 것이다. Faraday effect를 조사하기 위하여 자기장의 세기에 따른 Faraday 회전각의 변화를 측정하였고 그 결과를 [그림2]에 나타내었다. 자기장의 세기, B, 가 증가할수록 광섬유 1, 2 모두 반시계 방향으로 회전하였으며, 회전각의 크기는 자기장의 세기가 증가할수록 선형적으로 증가하였다. CO gas를 이용하여 환원 분위기를 조성하여 제조한 광섬유 1의 경우, 광섬유 2보다 Faraday 회전각이 약 3배정도 크게 나타났다. Eu가 함유되지 않은 단일모드 광섬유도 Faraday 회전을 나타내었음을 확인하였다. 광섬유의 길이가 71cm, 자기장이 0.142T인 조건에서 광섬유 1은 반시계 방향으로 4.74°, 광섬유2는 1.7° 회전하였으며, 자기장 증가 감소에 따라 반응시간의 지연 없이 회전하였다. 측정된 회전각, θ ,를 이용하여 Verdet 상수, V,를 $\theta = VBL$ 로 주어지는 간단한 Faraday effect 식으로부터 계산하였다. 이때 L은 광섬유의 길이(m) 이다. 광섬유1의 경우는 $V = -0.819[\text{rad}/\text{T} \cdot \text{m}]$, 광섬유 2의 경우는 $V = -0.294[\text{rad}/\text{T} \cdot \text{m}]$ 이었다. 광섬유1이 광섬유2보다 Verdet 상수가 약 3배 증가한 결과를 보아 CO 가스에 의하여 Eu^{3+} ion이 다수 Eu^{2+} ion으로 환원되었음을 또한 알 수 있다.[1] Eu^{2+} ion에 의한 Verdet 상수의 증가는 $4f^7-4f^65d$ 전이에 의해 기인하는 것으로 알려져 있다.[1,5]

4. 결론

MCVD 공정 중 CO 가스를 환원제로 사용하여 광섬유 코어내부에 Eu^{2+} ion 이 첨가된 자기광학 광섬유를 성공적으로 제조하였다. 광흡수 스펙트럼과 Faraday 회전각의 측정 결과, Eu^{2+} ion이 첨가된 광섬유가 Eu^{3+} ion 첨가 광섬유보다 Faraday effect가 3배정도 증가함을 알 수 있었다.

본 연구는 광주과학기술원 UFON의 ERC와 BK-21 사업의 일부 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. K. Tanaka, K. Fujita, N. Matsuoka, K. Hirao, and N. Soga, "Large Faraday effect and local structure of alkali silicate glasses containing divalent europium ions," J. Mater. Res., Vol.13, No. 7, pp.1989-1995
2. D. H. Kim, T. J. Ahn, H. Y. Yang, W. C. Pack, W. T. Han, "Fabrication and magneto-optic characteristics of Europium doped optical fiber," Photonics Conference 2003, pp.519-520
3. G. Blasse, "Handbook of Physics and Chemistry of Rare earths", North-Holland, Amsterdam, 1979 pp.237-274
4. K. Oh, "Spectroscopic studies of rare earth doped fibers and their applications in optical amplifiers, fiber lasers, and gas sensors", Chap. 3, pp.55-84
5. Y. R. Shen and N. Gloembergen, "Faraday rotation of Rare-Earth Ions in CaF_2 .II. Experiments," Phys. Rev, Vol.133, No. 2A, 1964, pp. A515-A520

T
E