

PbTe 양자점이 함유된 높은 비선형 광섬유의 광학적 특성에 대한 열처리 효과

Effect of Heat Treatment on Optical Characteristics of Highly Nonlinear Optical Fiber Doped with PbTe Semiconductor Quantum Dots

주성민, Pramod R. Watekar, 한원택
 광주과학기술원 정보통신공학과 특수광섬유 연구실
 wthan@gist.ac.kr

나도 크기의 반도체 미립자(Semiconductor quantum dots : SQDs)가 함유된 유리는 양자 폐쇄 효과에 따른 밴드 갭 에너지 크기의 조절이 가능하며, 높은 광학적 비선형성을 가지므로 전광 소자로의 응용이 기대되어 많은 관심을 가져오고 있다.⁽¹⁾ 특히, PbS, PbSe, 그리고 PbTe와 같은 lead chalcogenides 계열인 IV-VI족 SQDs은 좁은 밴드 갭 에너지, 높은 비선형성, 그리고 빠른 응답 특성을 가지므로 광통신 응용에 적합한 물질이다.⁽²⁾ 최근 저희 연구실에서 PbTe 나노 입자가 광섬유 코어 영역에 함유되어 높은 비선형성을 가지는 광섬유를 최초로 개발하였다.⁽³⁻⁵⁾

광섬유 코어에 PbTe SQDs이 함유된 광섬유의 흡수현상은 SQDs에 의한 양자 공명 현상에 의해 야기되는 것으로, 광 흡수 피크의 크기 및 위치는 비선형 광특성 평가의 주요 인자이다. 일반적으로 광 흡수 피크의 크기는 양자점의 농도에 좌우되며, 위치는 양자점의 크기에 따라 변화한다.

본 논문에서는 광섬유의 열처리를 통한 미세입자의 성장을 유도하여 PbTe SQDs 크기에 따른 광특성의 변화를 연구하였다.^(1, 3) 특히 일반 전기로에서의 열처리를 통한 광섬유의 결정화 및 표면 산화를 막기 위해 할로젠램프의 방사열을 이용한 새로운 열처리법을 제안하였다.

PbTe 나노 입자가 함유된 광섬유는 atomization 도핑기술⁽⁵⁾과 MCVD 공정을 이용하여 제조하였다. 도핑 용액은 PbO와 Te를 소정의 몰 농도를 갖도록 칭량한 다음, 약 70% 질산과 증류수를 이용하여 0.03M의 농도로 준비하였다. 제조된 광섬유의 코어 직경은 약 9.6 μ m이고 차단 파장은 1.19 μ m였다.

PbTe SQDs이 함유된 광섬유의 광특성은 white light source (Ando AQ 4303B)와 OSA (Ando AQ 6315B)를 이용하여 cut-back방법으로 측정하였다. 열처리는 할로젠 램프를 이용한 Image Furnace를 이용하여 700 $^{\circ}$ C, 1000 $^{\circ}$ C, 그리고 1100 $^{\circ}$ C에서 각각 한 시간씩 수행하였다.

Fig. 1에 MCVD 공정과 atomization법에 의해 제조된 PbTe 입자가 함유된 광섬유 모재와 도핑 공정을 거치지 않은 reference 모재의 XRD 분석 결과를 나타내었다. 도핑 공정을 거치지 않은 reference 모재에서는 PbTe 입자에 의한 회절 peak이 나타나지 않음에 반해, atomization법에 의해 제조된 광섬유 모재에서는 2 θ 가 21.6 $^{\circ}$ 인 (200)방향으로 성장한 PbTe 입자에 의한 회절 peak을 관찰 할 수 있었다. XRD 분석 결과로 광섬유 모재의 코어 내에 PbTe 입자들이 존재함을 확인하였으며, PbTe에 의한 회절 peak이 다소 완만한 형상을 보이는 것은 PbTe 입자의 작은 크기에 의한 것이다.

Fig. 2에 열처리 전 후의 광흡수 스펙트럼의 변화를 나타내었다. 열처리 전의 광섬유에서 나타난 687nm와 1055nm에서의 광흡수 밴드는 PbTe SQDs의 흡수에 의해 발생한 것이며,⁽⁶⁾ 광섬유 모재에서 이미 형성된 PbTe 미립자는 고온(2150 $^{\circ}$ C)의 광섬유 인출 공정을 거친 후에도 산화되지 않고 나노 크기의 미세 입자로서 존재한다는 점이 특기할 만한 사실이다. 1300nm에서의 흡수 peak은 OH 불순물의 혼입에 의한 것이다. 열처리 후 광흡수 밴드는 위치의 이동을 보였으며, 온도가 증가할수록 장파장으로 선

형적인 이동을 하였다. 이러한 red-shift 현상은 열처리에 따른 PbTe SQDs의 크기 증가에 의한 것으로 설명될 수 있다. 또한 같은 온도에서 열처리 한 경우에도 1055nm에서의 흡수 밴드는 1100°C에서 43nm의

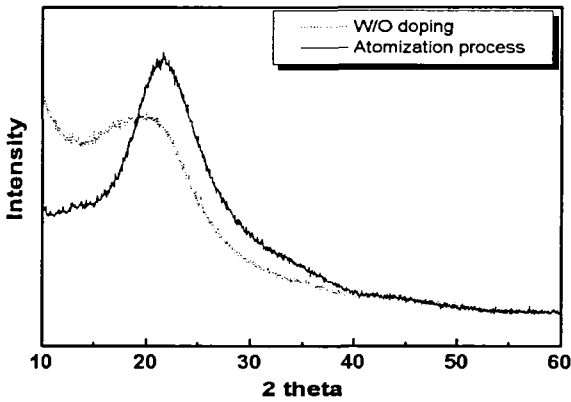


Fig. 1. XRD patterns of the PbTe-doped preform

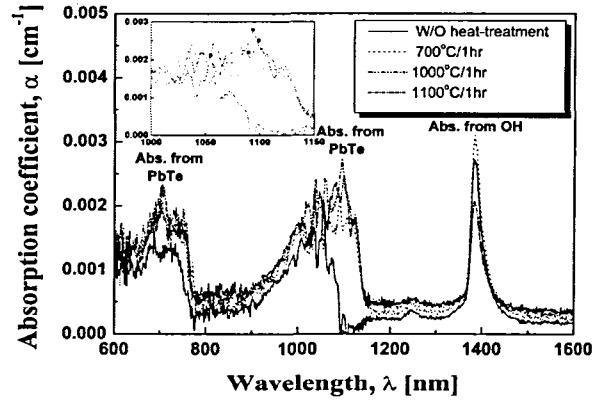


Fig. 2. Absorption spectra of PbTe-doped fiber after heat-treatment at 700, 1000, and 1100°C for 1 hour.

이동으로 687nm에서의 흡수 밴드가 이동한 17nm에 비해 큰 증가량을 보였다. 입자 크기가 큰 PbTe SQDs에 의한 1055nm에서 흡수 밴드는 작은 크기의 입자에서 보인 687nm의 흡수 밴드보다 열처리 후 입자의 큰 표면 에너지에 의해 빠른 성장을 보였으며 따라서 큰 과장 이동을 나타낸 것으로 사료된다.⁽⁷⁾

광섬유 코어내에 존재하는 PbTe 입자의 크기는 다음의 수식에 의해 추정할 수 있다.^(3, 6)

$$E - E_b = h^2 / (2\mu D_0^2) \quad (1)$$

여기서, D_0 는 PbTe의 평균 직경, E 는 첫 exaction peak에 필요한 에너지, E_b (337meV)는 벌크 PbTe의 밴드 갭 에너지, h 는 Plank 상수, 그리고 μ 은 $1/\mu = 1/\mu_e + 1/\mu_h$ 에 의해 결정되어지는 감소 질량이다. $\mu_e = \mu_h = 0.058m_e$ 이고 m_e 는 전자 질량을 의미한다. 위 (1)식을 이용하여 계산한 결과, PbTe 입자들의 평균 직경은 열처리 전에는 7.866nm이었고, 열처리 온도가 700°C, 1000°C, 그리고 1100°C로 증가함에 따라 각각 8.044nm, 8.066nm, 그리고 8.092nm로 증가하였다.

본 연구에서는 나노크기의 PbTe SQDs이 함유된 광섬유의 광흡수 특성에 대한 열처리 효과를 연구하였다. 광섬유 코어내의 PbTe SQDs의 존재 여부는 XRD 분석 결과 및 687nm와 1055nm에서 나타난 광흡수 밴드들에 의해 확인할 수 있었다. 열처리에 의해 흡수 밴드가 이동함을 발견하였고, 이는 PbTe SQDs의 평균 직경의 증가에 의한 것으로 1100°C에서 한 시간 동안의 열처리한 경우 평균 직경이 약 0.23nm가 증가하였다.

REFERENCES

1. U. Woggen, Optical Properties of Semiconductor Quantum Dots, (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1997).
2. R. Dalven, "A Review of the Semiconductor Properties of PbTe, PbSe, PbS and PbO," Infrared Phy., 9, 141~184 (1969).
3. J. S. Cho, U.-C. Peak, W.-T. Han, and J. Heo, "Fabrication and heat treatment effects on absorption characteristics of glass fibers doped with PbTe semiconductor quantum dots," OFC 2001, ThC4-1~ThC4-3 (2001).
4. W.-T. Han and Y. H. Kim, "Linear and nonlinear optical properties of optical fibers containing PbTe quantum dots for all optical switching application," The 2nd International Korea-China Symposium on Glass-Ceramics, 34~40 (2002).
5. S. Ju, Y. H. Kim, W.-T. Han, "Fabrication of PbTe Doped Optical Fiber by Using Atomization Doping Process and its Optical Nonlinearity," ECOC 2004 Proceedings Vol. 4, Th2.3.3, 850~851 (2004).
6. V. C. S. Reynoso, A. M. de Paula, R. F. Cuevas, J. A. Medeiros Neto, O. L. Alves, C. L. Cesar and L. C. Barbosa, "PbTe quantum dot doped glasses with absorption edge in the 1.5μm wavelength region," Electron. Lett., Vol. 32, 12, 1013~1014 (1995).
7. Ng, J. D., Lorber, B., Witz, J., Theobald-Dietrich, A., "The crystallization of biological macromolecules from precipitates: Evidence for Ostwald ripening," J. Cryst. Growth 168, 50 (1996).

T
D