

실리콘입자가 함유된 EDF 의 여기 파장 변화에 따른 PL 특성 변화 Effect of excitation wavelength on the PL characteristics of the Er³⁺-doped optical fiber incorporated with Si particles

문성배*, 김복현, 한원택

광주광역시 북구 오룡동 1 번지 광주과학기술원 정보통신공학과 특수광섬유 연구실

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

서 론

실리콘 입자가 나노 사이즈로 작아질 경우, 내부의 exciton 에너지 밴드 특성을 갖는다는 것과 이 에너지의 전달을 이용한 평면형 광증폭기에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다⁽¹⁾. 평판형 Erbium Doped Waveguide Amplifier(EDWA)에서 477 nm 파장의 LED를 이용하여 1535 nm 대역에서 14 dB/cm 의 증폭률을 얻은 결과가 보고된 바 있다⁽²⁾. 본 연구실에서는 최근 D형 광섬유를 이용한 Si 이온빔 조사 실험을 통해 Si 입자가 Er³⁺에 의한 광흡수를 증대시킨다는 결과를 얻었다⁽³⁻⁴⁾. 본 연구에서는 Er³⁺과 함께 실리콘(Si) 입자가 코어에 첨가된 광섬유를 제조하고 실리콘이 첨가되지 않은 Er³⁺ 첨가 광섬유와의 여기 파장 변화에 따른 형광특성 비교를 통하여, 광섬유 내에서의 Si로부터 Er³⁺으로의 에너지 전달 가능성에 대해 살펴보았다.

실험 및 결과

Modified Chemical Vapor Deposition(MCVD)공정과 Er³⁺ 이온 및 실리콘의 첨가를 위한 용액 첨가법(Solution Doping Method)을 사용하여 광섬유 모재를 제조하였다⁽⁵⁾. Er³⁺ 및 Si를 광섬유 코어에 첨가하기 위하여, 먼저 0.017M ErCl₃-6H₂O 및 0.068M AlCl₃을 에탄올에 녹인 후 추가로 0.3 g의 Si powder (Kojundo, SIE17PB, 입자크기<4μm) 넣고 mixing 하여 2.5 ml 의 용액 A를 만들었다. 그리고 비교를 위하여 0.017M ErCl₃-6H₂O 및 0.068M AlCl₃ 만 녹인 2.5 ml 의 용액 B를 만들었다. 용액 A, B 및 용액 첨가법을 각각 사용하여 길이 50 cm 의 광섬유 모재를 제조한 후 광섬유로 인출하였다.

제조된 두 광섬유의 도펀트, 구조 및 광특성은 표 1과 같다. 제작된 광섬유의 형광 특성은 파장가변 CW Ar-ion 레이저를 이용하여 펄핑을 한 후 optical spectrum analyzer를 사용하여 측정하였다. 길이 2m의 광섬유에 CW Ar-ion 레이저 빔의 출력파장(여기 파장)을 각각 477, 488, 498, 512 nm 으로 가변하여 입사시킨 후 광섬유에서 출력되는 Photo-luminescence (PL) 스펙트럼을 400 - 1650 nm 영역에서 측정하였다. 모든 광측정은 상온(25 °C)에서 수행하였다.

[표 1] 제조된 광섬유의 구조 및 광특성

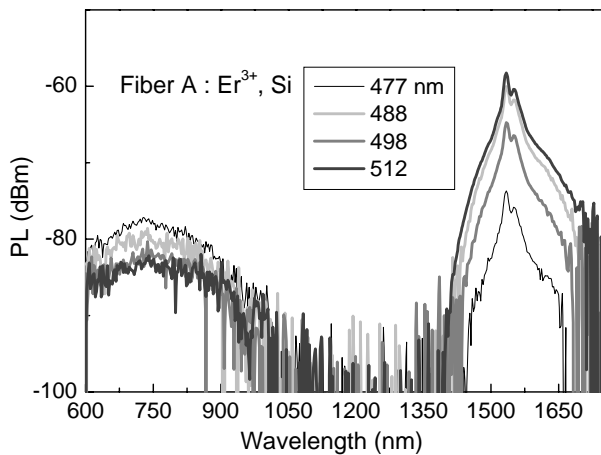
	Dopants	Core diameter	Δn	Cutoff Wavelength
Fiber-A	Si, and Er ³⁺	5.8 μm	0.0058	1295 nm
Fiber-B	Er ³⁺	5.4 μm	0.0065	1175 nm

광섬유 A (Er³⁺ 및 Si 첨가)와 B (Er³⁺ 첨가)의 PL 측정결과를 그림 1 및 2 에 나타내었다. 여기 파장에 관계없이 Er³⁺ 이 Si과 함께 첨가된 광섬유 A가 Er³⁺ 만 첨가된 광섬유 B에 비하여 Si의 radiative carrier recombination 에 의한 760 nm 파장 및 1560 nm 파장에서 PL 이 상대적으로 높게 측정이 되었다. 또한, 광섬유 A에서는 Si의 radiative carrier recombination 에 의한 600 -1000 nm 에 걸친 넓은 대역의 PL을 관찰할 수 있는 반면 광섬유 B에 있어서는 Er³⁺ 고유의 PL 밴드가 650, 770, 850 nm 등에서 나타나는 것을 볼 수 있었다⁽⁶⁾. 그림 2 에서 확인되는 바와 같이 488 nm 와 512 nm 의 파장의 펄핑 광원에 대한 광통신대역의 상대적인 증폭비가 크게 나타나는데, 이는 Er³⁺ 자체의 흡수 밴드인 ⁴I_{15/2}->⁴F_{7/2} 와 ⁴I_{15/2}->²H_{11/2}에 의한 것으로 보인다.

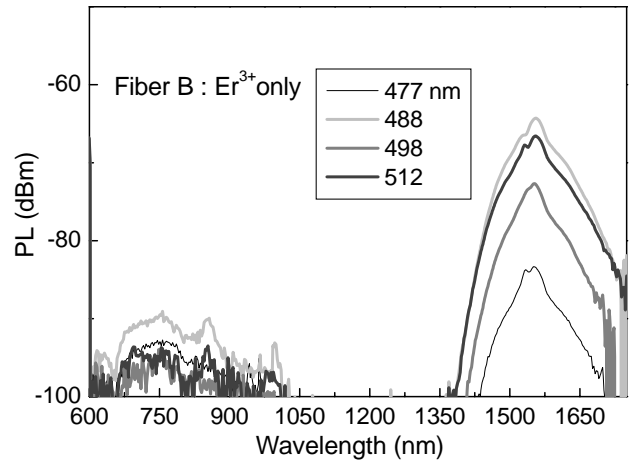
광섬유 A의 경우 (그림 3), 여기 파장 가변에 따른 1560 nm-PL 세기(PLE) 변화는 Si:O의 몰 비가 1:2에 해당하는 Silicon-rich silicon oxide film 에서의 실험 결과와 일치하는 결과를 보여준다⁽⁷⁾. 광섬유의 특성상 Si:O 의 몰비는 1:2로 균일하게 분포된다. 광섬유 A에서의 Si에서 Er³⁺으로의 에너지 전달을 확인하기 위해서 770 nm 대역의 PLE 변화를 여기 파장에 따라 그림 4 에 나타내었다. 770 nm 대역의 PLE 변화의 경우, 광섬유 A, B 의 서로 다른 PL 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. Si이 첨가된 광섬유 A의 경우, 도핑된 Si의 PL 로 설명 되는 770 nm 영역의 발광의 크기가 광섬유 B에 비하여 10 dBm 정도 크며 펄핑 광원의 여기 파장 증가(477->512 nm)에 따라 연속적으로 감소하였지만, 광섬유 B의 경우 488 nm 파장에서 PLE 값이 오히려 증가하였다가 여기 파장이 증가할수록 다시 감소하는 결과를 나타내었다. 광섬유 B에서의 770 nm 대역의 PLE 값은 그 증가 폭으로 보아 Er³⁺ 의 고유한

한국광학회 하계학술발표회

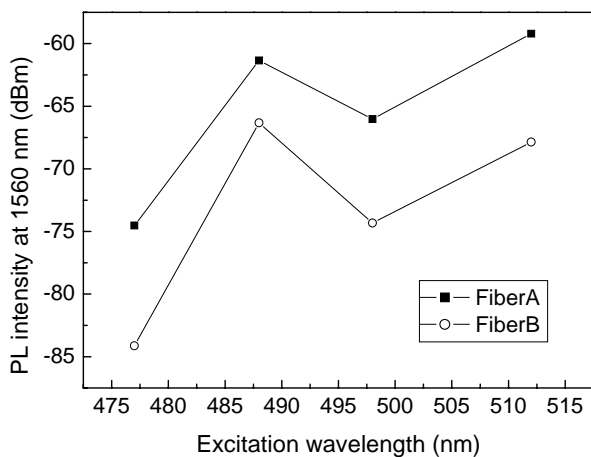
흡수 밴드 488 nm ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4F_{7/2}$) 대역의 에너지를 흡수하고, 이를 고유 에너지 밴드 $^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ (at 690 nm)로 발광한 결과로 보여진다. 반면 광섬유 A인 경우, Er^{3+} 이온 고유의 흡수 밴드인 488 nm 대역의 에너지 흡수에 영향을 거의 받지 않는 것으로 보아 실리콘 입자의 내부 exciton 밴드에 기인한 PL (770nm) 만 주로 나타난 것임을 알 수 있다. 광섬유 A에서의 770nm 대역의 PLE 감소는 Er^{3+} 첨가 다공성 실리콘의 연구⁽⁸⁾와 비교하여 볼 때 Si 입자에 흡수된 광 에너지의 전달 결과와도 일치한다.



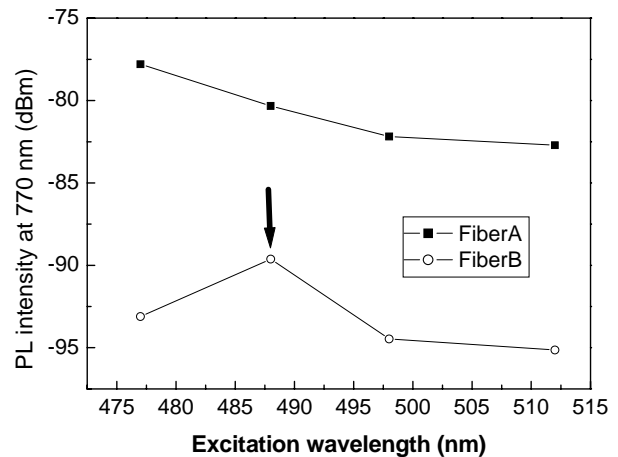
[그림 1] Er^{3+} 및 Si 이 첨가된 광섬유의 여기 파장 변화에 따른 PL 스펙트럼



[그림 2] Er^{3+} 이 첨가된 광섬유의 여기 파장 변화에 따른 PL 스펙트럼



[그림 3] 제조된 광섬유의 1560 nm 에서의 PLE 특성



[그림 4] 제조된 광섬유의 770 nm 에서의 PLE 에서의 특성

결론

Si 입자와 Er^{3+} 이 함께 첨가된 광섬유를 제조하여, 여기 파장 변화에 따른 PLE 특성 변화를 측정하였다. 펌핑 광원의 여기 파장 증가(477→512 nm)에 따라 770 nm 영역에서의 PLE는 Er^{3+} 만 함유된 광섬유와는 달리 연속적으로 감소하였으며, 이는 광섬유 코어에 함유된 Si로부터 Er^{3+} 으로의 에너지 전달이 이루어졌기 때문이다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원의 UFON-ERC 프로그램 및 교육인적자원부의 BK-21 사업의 일부 지원에 의한 것입니다

참고 문헌

1. M. Fujii, et al., Appl. Phys. Lett. **71**, 1198-1200 (1997).
2. H.-S. Han, et al., Appl. Phys. Lett. **81**, 3720-3722 (2002).
3. S. Moon, et al., COOC 2005, paper **T2A7**, pp. 123-124, 2005.
4. S. Moon, et al., International conference on nanoscience and nanotechnology, 2005.
5. J. S. Cho, et al., OFC 2001, ThC4-1 (2001).
6. S. Sudo, Optical Fiber Amplifiers: Materials, Devices, and Applications, Artech House Inc., 1997
7. Jung H. Shin, et al., Appl. Phys. Lett. **72**, 1092 (1998).
8. X. Wu, et al., Appl. Phys. Lett. **69**, 1903 (1996).