

Thulium이 첨가된 Upconversion 광섬유 Blue Laser 개발

황대석*, 김규식*, 허창우*, 이영우*

*목원대학교 IT 공학과

Development of the Thulium Doped Upconversion Fiber Blue Laser

Dae-seok Hwang* · Kyu-sik Kim* · Chang-wu Hur* · Young-Woo Lee*

*Dept. of IT Eng., Mokwon University

E-mail : ywlee@mokwon.ac.kr

요 약

본 연구에서는 Thulium(Tm^{3+})이 첨가된 광섬유를 이용, Upconversion blue 레이저의 개발을 위해 fiber 길이 및 파워 변화에 따른 최적화된 설계 기준 값을 찾기 위한 시뮬레이션 코드를 개발하고 그 해석을 행하였다. 1140nm의 여기광원을 이용하여 여기하였을 때 광섬유 길이 40cm에서 약 100mW의 발진 문턱값을 갖으며 1W의 여기 광원에 대해 60mW의 출력 특성이 예상된다.

키워드

upconversion, blue laser, thulium, Tm^{3+}

1. 서 론

최근 컬러 디스플레이, 프린팅, 대용량 정보 저장 매체등의 발전과 함께 Blue laser 광원의 수요가 증가되고 있다. Blue laser 광원을 얻는 주된 방법은 크게 세가지가 있다. 첫째로 최근 수년간 등장한 청색 발광 LD(Laser Diode)를 이용한 방법, 두 번째로 적외선 파장을 1/2로 변환하는 방법, 마지막으로 upconversion lasing 등이 있다. 첫 번째 방법인 LD로부터 직접 blue laser를 얻는 방법은 가장 소형으로 간편하게 얻을수 있는 방법이지만 기술적인 부분에서 출력, 동작수명, 동작온도 및 안정성 면에서 제한점이 존재한다. 두 번째 방법인 적외선 파장을 변환하는 방법(SHG : Second Harmonic Generation) 방법은 LD로부터 직접 blue laser를 얻는 방법에 비해 출력면에서 더 높은 효율을 갖는다. 세 번째 방법인 upconversion lasing은 가장 높은 출력의 blue laser를 얻을 수 있는 방법으로 알려져 있다[1].

Thulium(Tm^{3+})이 첨가된 blue 광섬유 레이저의 발전은 이미 선진 여러 연구 그룹에 의해 진행되고 있다[1~5]. Blue laser를 얻기위한 thulium의 상준위 laser 레벨(1G_4)은 효율적인 upconversion에 의해 얻을 수 있다. 가장 효율적인 여기 파장은 1120nm~1160nm 영역[5]으로 Nd:YAG나 LD를 이용하여 upconversion 여기한다.

그림 1은 fluoride glass에서의 Tm^{3+} 이온의 에너지 레벨 다이어그램을 보여준다. Tm^{3+} 이온은 여러개의 기저상태흡수(GSA : Ground-State Absorption), 여기상태흡수(ESA : Excited-State Absorption), 및 방출선을 갖고 있으며[6], 다양한 여기 광원을 이용한 CW, pulse 여기로 455nm[7~9], 480nm[2,3]의 upconversion laser를 얻을 수 있다.

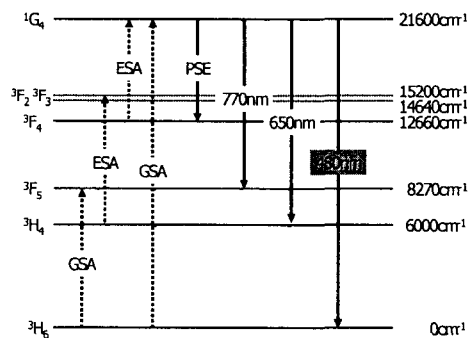


그림 4 그림 4 Tm^{3+} 이온의 에너지 준위 천이도. GSA(Ground-State Absorption), ESA(Excited-State Absorption), PSE(Pump Stimulated Emission)

II. 수치해석 모델

그림 2는 올방정식 분석에 대한 모델이다. 1140nm로 여기된 Tm³⁺ 이온은 크게 ³H₆→³F₅, ³H₄→³F₃, ³F₄→¹G₄의 세 개의 여기 천이선을 갖는다. ³F₂와 ³F₃ 레벨은 매우 근접하여 간단히 하나의 레벨로 볼 수 있다. ³H₆, ³H₄, ³F₅, ³F₄, ³F₂₋₃, ¹G₄의 밀도를 각각 N₀, N₁, N₂, N₃, N₄, N₅로, 출력광의 유도방출 단면적은 σ_s^e, 흡수 단면적은 σ_s라고 가정하여 아래와 같은 모델에 대한 올방정식을 만들었다.

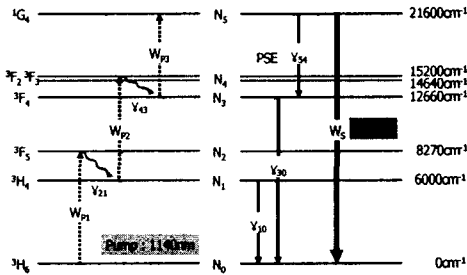


그림 5 올방정식 분석을 위한 모델 (좌) 여기 천이 모델 (우) 방출 모델

$$\frac{dN_0}{dt} = -W_{p1}N_0 + \gamma_{10}N_1 + \gamma_{30}N_3 + W_S N_5 \quad (1)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -W_{p2}N_1 - \gamma_{10}N_1 + \gamma_{21}N_2 \quad (2)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = W_{p1}N_0 - \gamma_{21}N_2 \quad (3)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = -W_{p3}N_3 + \gamma_{43}N_4 - \gamma_{30}N_3 \quad (4)$$

$$\frac{dN_4}{dt} = W_{p2}N_1 - \gamma_{43}N_4 + \gamma_{54}N_5 \quad (5)$$

$$\frac{dN_5}{dt} = W_{p3}N_3 - \gamma_{54}N_5 - W_S N_5 \quad (6)$$

여기에서 유도 방출 또는 흡수 천이 가능성은 W_p, 다른 자연 방출 천이 또는 i 레벨에서 j 레벨로의 multiphotonon 감소율은 γ_{ij}로 가정했다.

N₂와 N₄는 다른 N_i에 비해 작은 수치 이므로 총 밀도 N은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$N = N_0 + N_1 + N_3 + N_5 \quad (7)$$

올방정식에 대한 천이율에 대한 식은 다음과 같다.

$$W_{p1} = \frac{I_p \sigma_{p1}^a}{h\nu_p} \quad (8)$$

$$W_{p2} = \frac{I_p \sigma_{p2}^a}{h\nu_p} \quad (9)$$

$$W_{p3} = \frac{I_p \sigma_{p3}^a}{h\nu_p} \quad (10)$$

$$W_s = \frac{I_p \sigma_s^s}{h\nu_s} \quad (11)$$

$$\gamma_{10} = \frac{1}{\tau_{10}} \quad (12)$$

$$\gamma_{21} = \frac{1}{\tau_{21}} \quad (13)$$

$$\gamma_{30} = \frac{1}{\tau_{30}} \quad (14)$$

$$\gamma_{43} = \frac{1}{\tau_{43}} \quad (15)$$

$$\gamma_{52} = \frac{1}{\tau_{54}} \quad (16)$$

여기에서 I_p는 여기 광원의 세기이고, σ_{p1}^a, σ_{p2}^a, σ_{p3}^a는 각각 ³H₆→³F₅, ³H₄→³F₃, ³F₄→¹G₄에서의 유도 방출 단면적, τ_{ij}는 각각의 N_i에서의 수명이다. h는 플랑크상수, ν_p는 펌프광의 주파수, ν_s는 출력광의 주파수이다.

표 1은 올방정식에 사용된 Tm³⁺의 천이 파라미터이다.

표 1 올방정식 모델에 사용된 Tm³⁺의 천이 파라미터

Parameter(Unit)	Value
σ _{p1} ^a (m ²)	1.1 × 10 ⁻²⁷
σ _{p2} ^a (m ²)	8.2 × 10 ⁻²⁵
σ _{p3} ^a (m ²)	3.5 × 10 ⁻²⁶
σ _s ^s (m ²)	1.0 × 10 ⁻²⁵
γ ₁₀ (s ⁻¹)	172.4
γ ₂₁ (s ⁻¹)	195626
γ ₃₀ (s ⁻¹)	702.8
γ ₄₃ (s ⁻¹)	52986
γ ₅₂ (s ⁻¹)	492.9

Thulium이 첨가된 광섬유에서 공진기 내부의 출력광과 여기광원의 광강도의 변화는 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{dI_s}{dL} = (\sigma_s^e N_5 - \sigma_s^a N_0) I_s = \sigma_s \Delta N I_s \quad (17)$$

$$\frac{dI_p}{dz} = -(\sigma_{p1}^a N_0 + \sigma_{p2}^a N_2 + \sigma_{p3}^a N_4) I_p \quad (18)$$

여기에서 신호광의 이득은 아래와 같이 주어진다

$$g_0 = \sigma_s \Delta N \quad (19)$$

레이저 출력경에서 출력되는 레이저 광원의 광강도는 다음과 구할 수 있다.

$$I = I_s \left[\frac{g}{L - \ln R - 1} \right] \quad (20)$$

g : $2g_0 l$

L : 공진기 내부 왕복 손실

R : 출력경의 반사율

III. 결론

본 연구에서는 Thulium(Tm^{3+})이 첨가된 광섬유를 이용, Upconversion blue 레이저의 개발을 위해 fiber 길이 및 파워 변화에 따른 최적화된 설계 기준 값을 찾기 위한 시뮬레이션 코드를 개발하고 그 해석을 행하였다. 1140nm의 여기광원을 이용하여 여기하였을 때 광섬유 길이 40cm에서 약 100mW의 발진 문턱값을 갖으며 1W의 여기 광원에 대해 60mW의 출력 특성이 예상된다.

참고 문헌

- [1] S. Sanders, R. G. Waarts, D. G. Mehuys, and D. F. Welch, Appl. Phys. Lett., vol. 67, pp. 1815~1817, 1995.
- [2] S. G. Grubb, K. W. Bennett, R. S. Cannon, and W. F. Humer, Elec. Lett., vol. 28, pp. 1243~1244, 1992.
- [3] P. R. Barber, C. J. Mackechnie, R. D. T. Lauder, H. M. Pask, A. C. Tropper, D. C. Hanna, S. D. Butterworth., M. J. McCarthy, J. Archambault and L. Reekie, in OSA Tech. Dig. Ser. Washington, DC : Opt. Soc. Amer., 1994, pp.68~70, paper CFA3.
- [4] P. R. Barber, R. Paschotta, A. C. Tropper, and D. C. Hanna, Tech. Dig. QE-12, Southampton, U. K., 1995, pp. 1~12
- [5] I. J. Booth, C. J. Mackechnie, and B. F. Ventrudo, IEEE J. Quantum Electron., vol. 32, pp. 118~123, 1996
- [6] C. J. Mackechnie. Ph. D. thesis, 1994, Univ. of Southampton, UK.
- [7] J. Y. Allain, M. Monerie, and H. Poignant,

- Electron. Lett., vol. 25, pp. 155~168, 1990.
- [8] G. Tohman, J. Ohay, H Sato, and T. Fujita, in Proc. Conf. Lasers and Electro-Optics, 1993, paper CthF4
- [9] M. P. Le Flohic, J. Y. Allain, G. M. Stephan, and G. Maze, Opt. Lett., vol. 19, pp. 1982~1984, 1994.