

Efficient 2.70 μm Er:Cr:YSGG laser with FTIR modulator

Young Ho Park*, Dong Won Lee*, and Hong Jin Kong* and Young Shik Kim**

*Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon
305-701, KOREA

**Department of Physics, Dankook University, Cheon-an 330-714, KOREA
kmjang2@kaist.ac.kr

의학용 목적으로 인체에 주 성분인 물과 뼈의 기본적인 미네랄 성분인 수산화 인회석에 흡수가 높은 파장에 대한 연구가 오래도록 관심을 가지고 진행되어 왔다.⁽¹⁻²⁾ 3-μm 파장은 물과 뼈의 미네랄 성분 흡수도가 높은 파장이다.⁽³⁻⁵⁾ 이 파장의 낮은 출력 레이저는 외과용 메스등의 수술용 목적으로 사용되고 있으며, 높은 출력의 레이저는 치과용의 단단한 뼈의 식각용으로 사용되게 된다.⁽⁶⁻⁷⁾ 그러나 free-running 모드 동작의 긴 펄스폭 특성은 원하는 수술부위 만의 정확한 메스를 허락하지 않고, 열효과로 인한 수술 환부외에 그 주변의 피부손상을 일으키게 된다. 따라서, 큐 스위칭 기술을 이용한 짧은 펄스폭의 3-μm 범위의 레이저 개발을 필요로 하게 되었다.

기존의 3-μm 대역의 고체레이저로는 erbium 레이저 군들이 있다. 그 중에 대표적인 Er:YAG 레이저가 3-μm 레이저로 연구가 진행되었으며, 현재 시제품으로 개발되었다. Er:YAG 레이저의 발진은 $^4I_{11/2}$ (초기레벨 lifetime: 100 μs) → $^4I_{13/2}$ (마지막레벨 lifetime: 6 ms)에서 이루어지며,⁽⁸⁾ 발진 파장은 2.94 μm 파장이다. 하지만, Er:YAG 레이저는 초기 lifetime이 매우 짧기 때문에 큐 스위칭된 짧은 펄스 동작의 레이저 발진이 매우 어렵고, 문턱 에너지가 매우 높은 단점을 가지고 있다. Er:YAG 레이저가 짧은 펄스를 얻기 어려운 또 하나는 보편적인 전기적 큐 스위칭 방법들을 사용하기가 어렵다는데 있다. 포켈 셀과 같은 물질은 3 μm 파장에 대한 흡수성이 높고, 수 KV의 높은 전압으로 동작하는 스위칭 방법은 빔의 왜곡을 유발시키기 때문이다.⁽⁹⁾

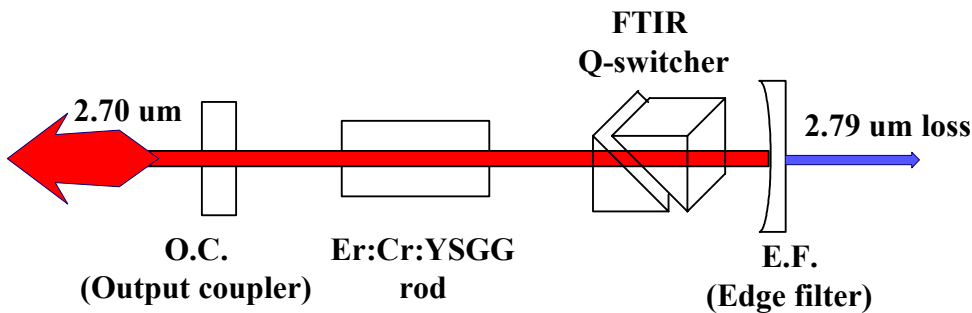


그림 1. FTIR Q-switched 2.70 μm 레이저 장치 개략도

본 연구는 플래쉬 램프 펌핑시 펌핑효율을 높이고, 발진 문턱을 낮추며, 큐 스위칭 효율을 높이는 2.70 μm-Er:Cr:YSGG 의료용 레이저 개발에 초점을 두고 연구가 진행 되었다.⁽¹⁰⁾ 효율적인 짧은 펄스를 얻기 위해 새로운 큐스위칭 기술을 적용시키는 연구를 진행되었다. 그림1은 2.70 μm Er:Cr:YSGG 의학용 레이저에 대한 개략도이다. 이득 매질은 Er: 30 at.%, Cr:1.5 at.% doping된 Er:Cr:YSGG 로드의 5mm * 80mm 크기를 사용하였으며, 후방거울쪽에는 이색성 코팅을 통해 2.79 μm에 대해서는 높은 투과율과 2.70 μm에 대해서는 높은 반사율의 edge filter를 사용하여, 2.70 μm를 발진시키도록 하였다. 출력경쪽

에는 최적화된 반사율을 얻기 위해 50%, 60%, 70% 의 각각의 반사율을 달리하여 측정하도록 하였다. edge filter와 출력경은 모두 3- μm 파장에 대해 투과율이 높은 CaF_2 물질을 사용하였으며, ~400V의 제어전압으로 piezo 물질을 동작시킴으로서 FTIR(frustrated total internal reflection) 큐스위칭 한 2.70 μm 의 짧은 펄스를 얻도록 구성하였다.⁽⁹⁻¹⁰⁾

본 연구는 흡수밴드가 넓은 Cr^{3+} 이온들을 Co-doping하고, Cr^{3+} 이온에서 Er^{3+} 이온으로 효과적으로 전이되도록 호스트 물질로 YSGG(Yttrium Scandium Gallium Garnet) 결정을 사용하는 시스템을 제안하여 높은 펌핑효율을 얻도록 제안되었다. 또한 짧은 펄스폭의 2.70- μm 레이저 펄스를 얻기위한 큐스위칭 방법으로 FTIR 방법을 사용하였다.⁽¹¹⁻¹²⁾ FTIR 큐 스위치는 빔의 편광효과를 기반으로 동작하지 않으며, 낮은 전압에서 동작하고 흡수가 작기 때문에 다른 전기적 큐 스위칭 방법들보다 높은 큐 스위칭 효율을 보인다. 뿐만 아니라, fiber를 이용한 전달 시스템에서 에너지 손실이 2.94 μm 와 2.79 μm 파장에 비교하여 매우 적기 때문에⁽¹³⁾ 큐 스위칭된 2.70 μm Er:Cr:YSGG의 짧은 펄스 레이저는 의료용 목적으로 매우 유용하게 사용가능하다.

현재 free-running 모드에서 동작하는 출력특성을 보았으며, 큐 스위칭 방법을 이용한 방법에 대한 연구를 계속 진행될 예정이다.

1. A. D. Zweig, M. Frenz, V. Roman and H. P. Weber, Appl. Phys. B **47** 259 (1988).
2. J. T. Walsh, T. J. Flotte and T. F. Deutsch, Lasers Surg. Med. **9** 314 (1989).
3. Bayly JG, Kartha VB, Steven WH, Infrared Phys **14** 211 (1963).
4. Walsh JT, Deutsh TF (1989) Er:YAG laser ablation of tissue: measurement of ablation rates. Lasers Surg Med 9:327-337
5. Nuss RC, Fabian RL, Sarkar R, Puliafito CA (1988) Infrared laser bone ablation. Lasers Surg Med 8:381-391
6. Fried D, Ashouri N, Breunig T, Shori R, Lasers Surg. Med. **31** 186 (2002).
7. Fried N. M, Fried D, Lasers Surg. Med. **28** 335 (2001).
8. T. T. Basiev, E. V. Zharikov, V. I. Zhekov. T. M. Murina, V. V. Osiko, A. M. Prokhorov, B. P. Starikov, M. I. Timoshechkin, and I. A. Shcherbakov, Sov. J. QE. **6** 796 (1976).
9. H. J. Eichler, B. Liu, M. Kayser, and S. I. Khomenko, Opt. Comm. **125** 250 (1996).
10. A. Hogele, G. Horbe, H. Lubatschowski, H. Welling, W. Ertmer, Opt. Comm. **125**, 90 (1996).
11. Yu. K. Voron'ko, S.B. Gessen, I. V. Gribkov, A. A. Kiryukhi, S. V. Lavrishchev, D. I. Melikhov, V. V. Osiko, A. A. Sobol, V. M. Tatarintsev, S. N. Ushakov, and L. I. Tsymbal, Sov. J. QE **19**, 1147 (1990).
12. P. F. Moulton, J. G. Manni, and G. A. Rines, "Spectroscopic and laser characteristics of Er: YSGG," IEEE. J. QE. **24** 960 (1988).
13. O. Kermani, H. Lubatschowski, Th. Asshauer, W. Ertmer, A. Lukin, B. Ermakov and G.K. Krieglstein, Lasers Surg. Med. **13** 537 (1993).