

光励起赤外域 NH<sub>3</sub> レーザと 16 μm 域 SFR レーザ  
Optically Pumped Infrared NH<sub>3</sub> Laser and 16 μm SFR Laser

宮崎和彦、笠田洋文、草野浩幸、岡村政和  
K.Miyazaki, Y.Kasada, H.Kusano, M.OKamura.

鳥取大学 工学部

Faculty of Engineering, Tottori University

レーザを使った新エネルギーの開発には、いくつかの分野があり、将来的には核融合の研究が最も重要であるが、近未来的には、レーザによる発電用ウランの濃縮（同位体分離）が極めて重要である。<sup>1)</sup> 周知のように、天然ウランは、僅か0.72%しか <sup>235</sup>U を含んでおらず、99.27%は <sup>238</sup>U である。そして、現在の発電用原子炉（軽水炉）で使用するためには、<sup>235</sup>U を3%まで濃縮しなければならない。<sup>1), 2)</sup> レーザ濃縮法によれば、発電用ウランの濃縮のために費されるエネルギーは、従来のガス拡散法の  $\frac{1}{200}$ 、遠心分離法に比べても  $\frac{1}{20}$  ですむ。<sup>1)</sup> しかも、レーザ法による場合、設備費もガス拡散法の10%（9割減）ですみ、さらに分離効率が高いので、省資源の面からもレーザ濃縮法は優れている。<sup>3), 4)</sup> このため、今世紀末の実用化をめざして、先進各国は、レーザによるウラン濃縮の研究にしのぎを削っている。

ウランのレーザ濃縮法には、原子法と分子法がある。<sup>2), 4)</sup> 分子法は、必要な性能を備えた赤外レーザさえ開発できれば、分離効率、消費電力、設備費すべてについて、原子法より優れている。<sup>2), 4)</sup> 分子法による場合、ウラン濃縮用赤外レーザに必要なとされる性能は、波長15.9 μm ( $628\text{cm}^{-1}$ )、出力0.1mJ/pulse, 1pps（遠い将来、1mJ/pulse, 200pps）、波長分解能  $\Delta\nu < 0.03\text{cm}^{-1}$  である。<sup>2)</sup>

我々は、従来から、分子法による発電用ウランの濃縮用レーザの開発を念頭において、赤外域 NH<sub>3</sub> レーザの研究・開発と、赤外域 NH<sub>3</sub> レーザ励起 InSb SFR (Spin-Flip Raman) レーザの研究を推進してきた。<sup>5)~12)</sup> 分子法による場合、関連技術の確立している UF<sub>6</sub> 分子ガスを用いて濃縮するわけであるが、<sup>235</sup>UF<sub>6</sub> と <sup>238</sup>UF<sub>6</sub> の赤外吸収線の同位体シフトは、 $628\text{cm}^{-1}$  近傍で僅か  $1\text{cm}^{-1}$  以下である。<sup>2), 4)</sup> したがって、分子法による、発電用ウラン濃縮のための赤外レーザを開発するためには、その発振線の波長を  $628\text{cm}^{-1}$  近傍で、精密に制御することができる必要があるが、SFRレーザは、励起光の波長と磁界により、その発振波長を精密に制御することができ、しかも、InSb SFRレーザは、高出力、高分解能の動作の可能なことが報告されているからである。<sup>13)</sup>

分子法による、ウラン濃縮のための InSb SFRレーザは、15.9 μm ( $628\text{cm}^{-1}$ ) まで、長波長化しなければならない。しかも8 T（テスラ）以下の磁界で、これを達成することが望ましく、このためには、InSb SFRレーザを励起するための赤外域 NH<sub>3</sub> レーザの発振線は、13~14 μm の波長域にある必要がある。なぜかと言うと、かつて米国では、12.81 μm、我々は12.08 μm の赤外域 NH<sub>3</sub> レーザで、InSb SFRレーザを発振させた。<sup>9), 12), 14), 15)</sup> この場合、15.9 μm 域で、InSb SFRレーザを発振させるに必要な磁界は、8 T 以上となるが、InSb SFRレーザの出力は、4~8 T の範囲の磁界のもとでは大きいのが、8~10 T の範囲の磁界のもとでは、非常に減少するからである。このため、我々は赤外域 NH<sub>3</sub> レーザの発振機構の研究をすすめる (Fig. A)、<sup>7)~12)</sup> その構造にも独自の工夫を入れて (Fig. 1)、12.97 μm ( $771.0\text{cm}^{-1}$ ) の高出力発振線を得ることができた (Fig. 2)。<sup>10)</sup> そして、この12.97 μm 赤外域 NH<sub>3</sub> レーザ発振線で、InSb SFRレーザを励起すると、15.9 μm InSb SFRレーザを発振させるに必要な磁界は8 T 以下となり (Fig. 3)、15.9 μm 発振線の高出力化が期待できるからである。

もう一つの重要課題は、15.9 μm 発振線の波長分解能  $\Delta\nu < 0.03\text{cm}^{-1}$  を得るに必要な超電導電磁石の性能（磁界の空間均一度、温度等）を決定することである。なお、我々の現有の装置で得ている InSb SFRレーザ発振線の波長分解能は  $\Delta\nu \approx 0.3\text{cm}^{-1}$  である。

文 献

- 1) 山中：電気学会雑誌 103 (昭58) 627.
- 2) 山中(監著)：レーザ工学(コロナ社, 昭56) 204.
- 3) 中根：レーザー研究 11 (1983) 72.
- 4) V. S. Letokhov: Nonlinear Laser Chemistry (Springer-Verlag, 1983) 34, 269.
- 5) 宮崎外：レーザー研究 5 (1977) 18.
- 6) K. Miyazaki et. al.: Jpn. J. Appl. phys. 17 (1978) 747.
- 7) 宮崎外：電気学会レーザ工学研究会資料 LEG-78-6 (1978)
- 8) K. Miyazaki et. al.: Optics Comm. 26 (1978) 410.
- 9) K. Miyazaki et. al.: Optics Comm. 30 (1979) 245.
- 10) K. Miyazaki et. al.: Appl. phys. B-26 (1981) 33.
- 11) M. J. Weber(ed): CRC Handbook of Laser Sci. and Tech. Vol. II (CRC Press, 1982) 319, 394, 395
- 12) K. J. Button(ed): Coherent Sources and Appl. Part II (Academic press, 1983) 79, 82.
- 13) H. Waither(ed): Laser Spectroscopy of Atoms and Molecules (Springer-Verlag, 1976) VI, 140.
- 14) C. K. N. Patel et. al.: Appl. phys. Lett. 28 (1976) 603.
- 15) S. D. Smith et. al.: Progress in Quantum Electronics Vol. 5, Part IV (Pergamon Press, 1977) 288.

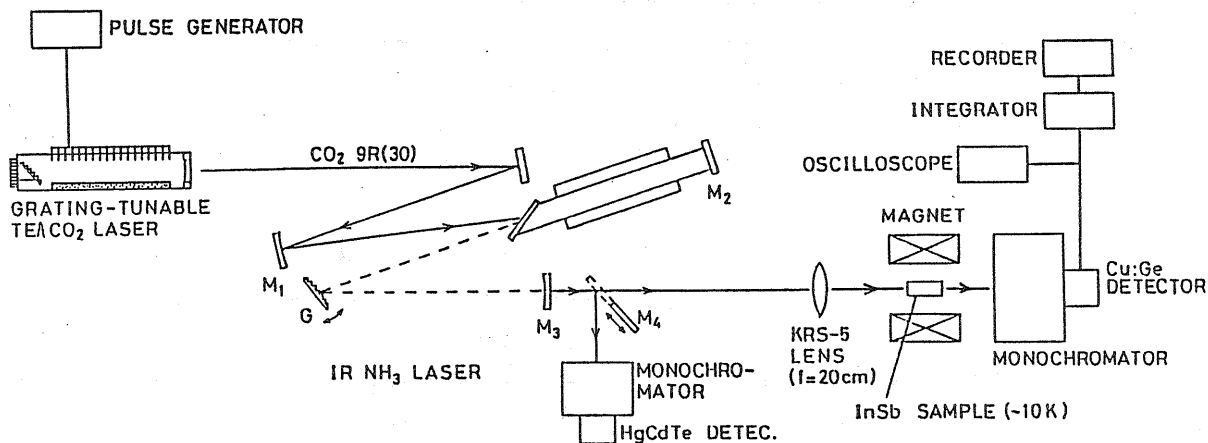


Fig. 1. Experimental Setup.

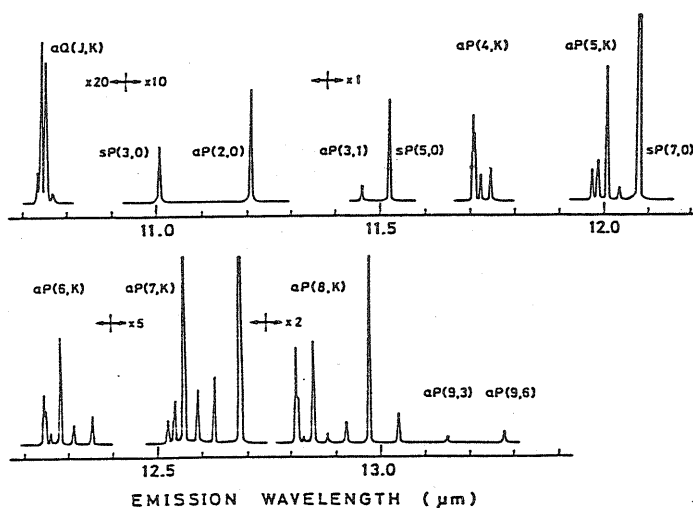


Fig. 2. Infrared Emission Spectra from NH Laser.

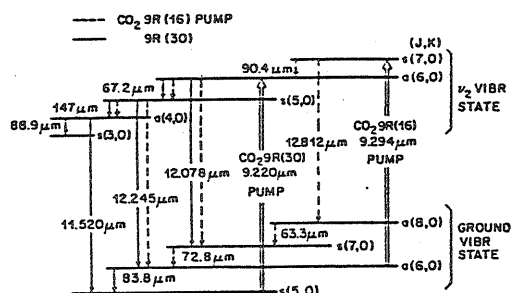


Fig. A. Relevant energy levels of  $N^{14}H$ , showing optical pumping by 9.220- R(30) and 9.294-um R(16)  $CO_2$  laser lines. The solid and broken lines indicate observed IR and FIR laser emissions for the R(30) and R(16) pumping cases, respectively. (From Yoshida, T., Yamabayashi, N., Miyazaki, K., and Fujisawa, K., *Opt. Commun.*, 26, 410, 1978. With permission.)

Table 1  
The observed IR laser lines from " $NH_3$  laser I". (Pumping:  $CO_2: 9R(30), NH_3: G_{22} sR(5,K), K = 0.1, 2, 3, 4, 5$ ) (Ref. 6.)

Observed <sup>a)</sup> $\lambda_c$ ( $\mu m$ )	$\nu_c$ ( $cm^{-1}$ )	Transition <sup>b)</sup>	
		$(\nu_2 - G)$	$\nu_1$ ( $cm^{-1}$ )
* 10.735	931.5	aQ(2,2)	931.31
* 10.743	930.8	aQ(3,3)	930.76
* 10.754	929.9	aQ(4,4)	929.91
* 10.768	928.7	aQ(5,5)	928.74
* 11.010	908.3	sP(3,0)	908.17
* 11.207	892.3	aP(2,0)	892.14
11.459	872.7	aP(3,1)	872.56
11.520	868.1	sP(5,0)	867.93
* 11.711	853.9	aP(4,0)	853.81
* 11.715	853.6	aP(4,1)	853.55
* 11.727	852.7	aP(4,2)	852.71
* 11.747	851.3	aP(4,3)	851.32
* 11.978	834.9	aP(5,1)	834.82
11.989	834.1	aP(5,2)	834.00
12.010	832.6	aP(5,3)	832.63
* 12.037	830.8	aP(5,4)	830.65
12.078	828.0	aP(7,0)	827.84
12.245	816.7	aP(6,0)	816.66
* 12.249	816.4	aP(6,1)	816.39
12.261	815.6	aP(6,2)	815.59
12.280	814.3	aP(6,3)	814.25
12.311	812.3	aP(6,4)	812.30
12.351	809.7	aP(6,5)	809.72
12.527	798.3	aP(7,1)	798.23
12.541	797.4	aP(7,2)	797.45
12.562	796.1	aP(7,3)	796.14
12.592	794.2	aP(7,4)	794.26
12.632	791.6	aP(7,5)	791.72
12.685	788.3	aP(7,6)	788.50
12.812	780.5	aP(8,0)	780.57
		aP(8,1)	780.32
* 12.825	779.7	aP(8,2)	779.59
12.847	778.4	aP(8,3)	778.29
12.877	776.6	aP(8,4)	776.46
12.919	774.1	aP(8,5)	774.03
12.970	771.0	aP(8,6)	770.91
13.036	767.1	aP(8,7)	767.03
13.144	760.8	aP(9,3)	760.69
13.270	753.6	aP(9,6)	753.59

<sup>a)</sup> Newly observed laser lines.  
<sup>b)</sup> The accuracy of the measured wavelength was about  $\pm 0.003 \mu m$ . <sup>c)</sup> From ref. [13].

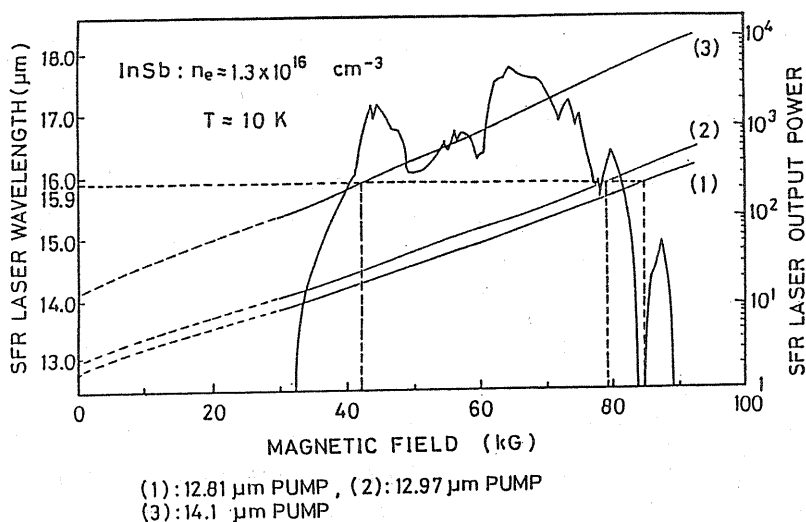


Fig. 3. SFR Laser Wavelength as a Function of Magnetic Field.  
(Relative SFR Laser Output Power, Ref. 14, 15.)