

F 1

分子法レーザーウラン濃縮用 15.9 μm 域同調可能赤外レーザーの開発

宮崎和彦*、笠田洋文*、黒杭義雄*、濱村繁男*、森上 浩*

(Kazuhiko Miyazaki*, Hirofumi Kasada*, Yoshio Kurokui*,

Shigeo Hamamura*, Hiroshi Morikami*)

*鳥取大学 工学部

(*Tottori University, Tottori-shi)

By using 13.83 μm infrared NH₃ laser as a pumping source, was developed InSb SFR (Spin-Flip Raman) laser with maximum output at 15.9 μm and in the magnetic field of about 4.95 Tesla. The magnetic field dependence of output of the InSb SFR laser was discussed in relation to the magneto-optical absorption in the conduction band of InSb. The InSb SFR laser pumped with 13.83 μm line of either the infrared NH₃ laser or the p-H₂ laser is considered to be an excellent laser for MLIS (Molecular Laser Isotope Separation) of Uranium (UF₆).

レーザーによる発電用ウランの濃縮法には、原子法と分子法がある。分子法には、数多くの長所 (merits)があるが、その実用化のためには、UF₆分子ガスの選択励起用レーザーとして、高性能の 15.9 μm (628-629 cm⁻¹)領域の同調可能 (波長可変)レーザーの開発が不可欠である。

InSb SFR (Spin-Flip Raman)レーザーは、磁界により、その発振波長を精密に制御 (連続的に同調)でき、十分な波長分解能を有するとともに、発振の高出力化、高繰り返し化が可能であるが、従来の 15.9 μm 域 InSb SFRレーザーは、12-13 μm 域の赤外レーザー光による励起だったので、15.9 μm 域の発振線を得るためには、8 T (テスラ)以上の磁界を必要とし、さらに、この場合には、InSb 半導体単結晶の磁気-光吸収のために、15.9 μm 域発振線の出力は、4-8 T の範囲の磁界のもとで観測される最大出力に比べ、非常に小さな出力 (10⁻⁴以下)しか得られなかった。^{1,2}

我々は、赤外域 NH₃ レーザの研究をすすめ、²⁻⁴その 13-14 μm 域発振線を高出力化し (Fig. 1)、これを励起に用いて、InSb SFRレーザーを発振させた (Fig.2, Fig.3)。その結果、特に赤外域の NH₃ レーザの aP(10,9)13.83 μm 発振線励起による場合、約 4.95 T の磁界のもとで、15.9 μm 域の InSb SFRレーザー発振線が、高出力で得られることを実験的に明らかにすることができた。⁴⁻⁶

InSb SFRレーザーの発振出力は、励起レーザー光 ($\hbar\omega_p$)、SFRレーザー発振光 ($\hbar\omega_s$)と、InSb 半導体単結晶の伝導帯中のランダウレベルならび LOフォノン ($\hbar\omega_{LO}$)との関係 (Fig.4, Fig.5)で、顕著に変化するが (Fig.3)、3.5-7.5 T の磁界のもとでは、発振出力の変化 (減衰)が顕著なのは、 $\hbar\omega_s = \hbar\omega_p + \hbar\omega_{LO}$ (A点)、 $\hbar\omega_p = \hbar\omega_s + \hbar\omega_{LO}$ (D点) および $\hbar\omega_s = \hbar\omega_p - \hbar\omega_{LO}$ (E点) のときである。

今後の課題は、上記の 15.9 μm 域同調可能 InSb SFRレーザー発振を、高出力化、高繰り返し化、高効率化することであるが、InSb単結晶試料の寸法化もすでに可能であることから、Fig.6ないし Fig.7の構成により、

- (1)発振波長: 15.9 μm (628-629cm⁻¹)赤外域で同調可能
- (2)発振出力: 0.1-0.35 J/pulse (InSb寸法 75mmφ × 125mm)
- (3)発振線の波長分解能: 0.2-0.03 cm⁻¹
- (4)発振の繰り返し: 300-1000 pps.
- (5)発振効率: 10⁻³-10⁻² $\left[\frac{0.05 \times 0.3 \times (0.07-0.7)}{(CO_2)(p-H_2)^* (SFR)} \right]^7$

の装置の開発が可能であると考えられる。

CO₂レーザーの 9R(18)9.28 μm (1077.3cm⁻¹)励起により 13.83 μm (723.3cm⁻¹)のバラ水素 (p-H₂)ラマンレーザー発振が得られる (Table 1)

文献

- 1) C.K.N Patel et al., Appl Phys. Lett., **23** (1975) 603.
- 2) K. Miyazaki et al., Optics Comm., **20** (1979) 245.
- 3) K. Miyazaki et al., Optics Comm., **26** (1978) 410.
- 4) 宮崎他: レーザー学会研究会報告 RTH-57-9 (1987) 29
- 5) 宮崎他: 電気学会 プラスチック研究会資料, 61-27-74 (1987) 121
- 6) 宮崎他: 電気学会光・量子電子学研究会資料, 00D-63-2 (1988) 9
- 7) 稲場: 応用物理, **41** (1972) 38

本研究は、科学研究費補助金 (一般研究 A、昭和 60-61 年度) の交付を受けた。

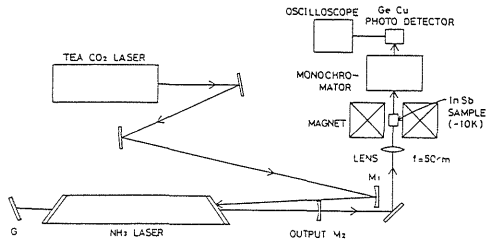


Fig.1 Experimental Setup for InSb SFR Laser Pumped with Infrared NH₃ Laser.

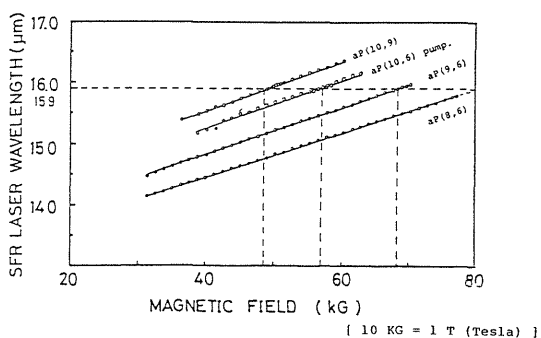


Fig.2 Emission Wavelengths of InSb SFR Laser Pumped with 13-14 micrometers Infrared NH₃ Laser as a Function of Magnetic Field.

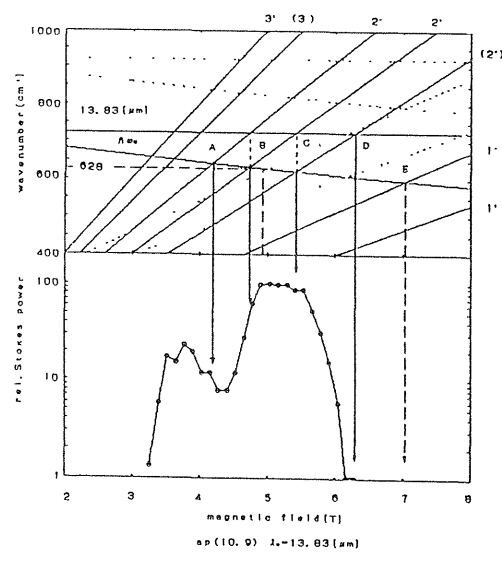


Fig.3 Relative Output of InSb SFR Laser Pumped with ap(10,9) Line of Infrared NH₃ Laser as a Function of Magnetic Field (T).

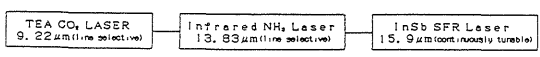


Fig.6 Tunable 15.9 micrometer InSb SFR Laser Pumped with 13.83 micrometer Line of Infrared NH₃ Laser.

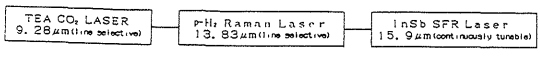


Fig.7 Tunable 15.9 micrometer InSb SFR Laser Pumped with 13.83 micrometer Line of p-H₂ Raman Laser.

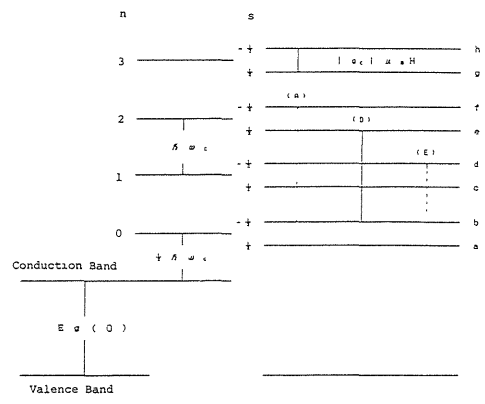


Fig.4 Landau Level Diagram in Conduction Band of InSb. (As for (A), (D) and (E), see Fig.5.)

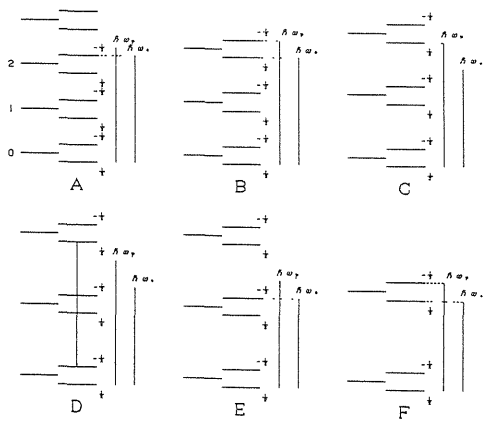


Fig.5 Several cases in Which Pumping Laser Photon Energy ($\hbar\omega_p$) and/or InSb SFR Laser Photon Energy ($\hbar\omega_s$) Coincide(s) with Energy Differences between Landau Levels with increasing in Magnetic Field.

Transition	CO ₂ Laser		PARA-H ₂ Laser		Magnetic Field for 15.9 micrometer InSb SFR Laser
	λ [micrometers]	[cm ⁻¹]	λ [micrometers]	[cm ⁻¹]	
R(62)	9.89347	10098.89	13.4171	745.32	
R(58)	9.89229	10099.93	13.4298	745.56	
R(54)	9.89112	10101.00	13.4426	745.79	
R(50)	9.88995	10102.10	13.4555	746.01	
R(46)	9.88878	10103.22	13.4684	746.25	
R(42)	9.88761	10104.37	13.4814	746.48	
R(38)	9.88644	10105.54	13.4945	746.72	
R(34)	9.88527	10106.73	13.5076	746.96	
R(30)	9.88410	10107.94	13.5208	747.20	
R(26)	9.88293	10109.17	13.5341	747.44	
R(22)	9.88176	10110.42	13.5474	747.68	
R(18)	9.88059	10111.69	13.5608	747.92	
R(14)	9.87942	10112.98	13.5742	748.16	
R(10)	9.87825	10114.29	13.5877	748.40	
R(6)	9.87708	10115.62	13.6012	748.64	
R(2)	9.87591	10116.97	13.6147	748.88	
P(66)	9.87474	10118.34	13.6282	749.12	
P(62)	9.87357	10119.73	13.6417	749.36	
P(58)	9.87240	10121.14	13.6552	749.60	
P(54)	9.87123	10122.57	13.6687	749.84	
P(50)	9.87006	10124.02	13.6822	750.08	
P(46)	9.86889	10125.49	13.6957	750.32	
P(42)	9.86772	10126.98	13.7092	750.56	
P(38)	9.86655	10128.49	13.7227	750.80	
P(34)	9.86538	10129.99	13.7362	751.04	
P(30)	9.86421	10131.52	13.7497	751.28	
P(26)	9.86304	10133.07	13.7632	751.52	
P(22)	9.86187	10134.64	13.7767	751.76	
P(18)	9.86070	10136.23	13.7902	752.00	
P(14)	9.85953	10137.84	13.8037	752.24	
P(10)	9.85836	10139.47	13.8172	752.48	
P(6)	9.85719	10141.12	13.8307	752.72	
P(2)	9.85602	10142.79	13.8442	752.96	
P(66)	9.85485	10144.48	13.8577	753.20	
P(62)	9.85368	10146.19	13.8712	753.44	
P(58)	9.85251	10147.92	13.8847	753.68	
P(54)	9.85134	10149.67	13.8982	753.92	
P(50)	9.85017	10151.44	13.9117	754.16	
P(46)	9.84900	10153.23	13.9252	754.40	
P(42)	9.84783	10155.04	13.9387	754.64	
P(38)	9.84666	10156.87	13.9522	754.88	
P(34)	9.84549	10158.72	13.9657	755.12	
P(30)	9.84432	10160.59	13.9792	755.36	
P(26)	9.84315	10162.48	13.9927	755.60	
P(22)	9.84198	10164.39	14.0062	755.84	
P(18)	9.84081	10166.32	14.0197	756.08	
P(14)	9.83964	10168.27	14.0332	756.32	
P(10)	9.83847	10170.24	14.0467	756.56	
P(6)	9.83730	10172.23	14.0602	756.80	
P(66)	9.83613	10174.24	14.0737	757.04	
P(62)	9.83496	10176.27	14.0872	757.28	
P(58)	9.83379	10178.32	14.1007	757.52	
P(54)	9.83262	10180.39	14.1142	757.76	
P(50)	9.83145	10182.48	14.1277	758.00	
P(46)	9.83028	10184.59	14.1412	758.24	
P(42)	9.82911	10186.72	14.1547	758.48	
P(38)	9.82794	10188.87	14.1682	758.72	
P(34)	9.82677	10191.04	14.1817	758.96	
P(30)	9.82560	10193.23	14.1952	759.20	
P(26)	9.82443	10195.44	14.2087	759.44	
P(22)	9.82326	10197.67	14.2222	759.68	
P(18)	9.82209	10200.92	14.2357	759.92	
P(14)	9.82092	10204.19	14.2492	760.16	
P(10)	9.81975	10207.48	14.2627	760.40	
P(6)	9.81858	10210.79	14.2762	760.64	
P(66)	9.81741	10214.12	14.2897	760.88	
P(62)	9.81624	10217.47	14.3032	761.12	
P(58)	9.81507	10220.84	14.3167	761.36	
P(54)	9.81390	10224.23	14.3302	761.60	
P(50)	9.81273	10227.64	14.3437	761.84	
P(46)	9.81156	10231.07	14.3572	762.08	
P(42)	9.81039	10234.52	14.3707	762.32	
P(38)	9.80922	10237.99	14.3842	762.56	
P(34)	9.80805	10241.48	14.3977	762.80	
P(30)	9.80688	10244.99	14.4112	763.04	
P(26)	9.80571	10248.52	14.4247	763.28	
P(22)	9.80454	10252.07	14.4382	763.52	
P(18)	9.80337	10255.64	14.4517	763.76	
P(14)	9.80220	10259.23	14.4652	764.00	
P(10)	9.80103	10262.84	14.4787	764.24	
P(6)	9.79986	10266.47	14.4922	764.48	
P(66)	9.79869	10270.12	14.5057	764.72	
P(62)	9.79752	10273.79	14.5192	764.96	
P(58)	9.79635	10277.48	14.5327	765.20	
P(54)	9.79518	10281.19	14.5462	765.44	
P(50)	9.79401	10284.92	14.5597	765.68	
P(46)	9.79284	10288.67	14.5732	765.92	
P(42)	9.79167	10292.44	14.5867	766.16	
P(38)	9.79050	10296.23	14.6002	766.40	
P(34)	9.78933	10300.04	14.6137	766.64	
P(30)	9.78816	10303.87	14.6272	766.88	
P(26)	9.78699	10307.72	14.6407	767.12	
P(22)	9.78582	10311.59	14.6542	767.36	
P(18)	9.78465	10315.48	14.6677	767.60	
P(14)	9.78348	10319.39	14.6812	767.84	
P(10)	9.78231	10323.32	14.6947	768.08	
P(6)	9.78114	10327.27	14.7082	768.32	

Table 1 Calculated Wavelengths of p-H₂ Raman Laser Pumped with TEA CO₂ Laser Lines between 9R(62) and 9P(66).