

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レーザーの研究をすすめ、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レーザーの 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、 $\hbar\omega_s = \hbar\omega_{af}$ (A点)、 $\hbar\omega_p = \hbar\omega_b$ (D点) および $\hbar\omega_s = \hbar\omega_{ad}$ (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 (628-629 cm⁻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 (1077.3 cm⁻¹)励起により 13.83 μm (723.3 cm⁻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 プラスマ研究会資料, 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) の交付をうけた。

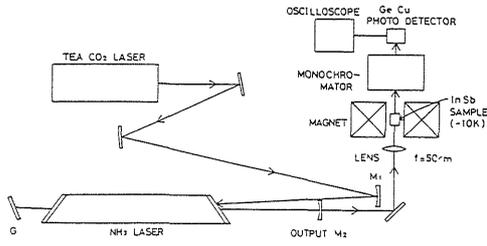


Fig. 1 Experimental Setup for InSb SFR Laser Pumped with Infrared NH₃ Laser.

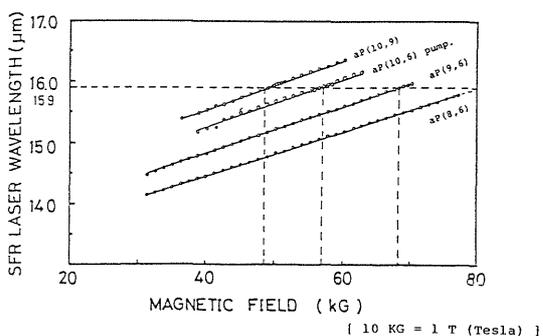


Fig. 2 Emission Wavelengths of InSb SFR Laser Pumped with 13-14 μm Infrared NH₃ Laser as a Function of Magnetic Field.

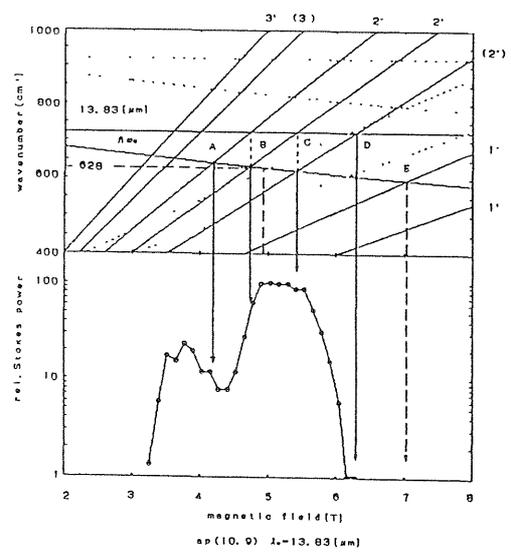


Fig. 3 Relative Output of InSb SFR Laser Pumped with aP(10,9) Line of Infrared NH₃ Laser as a Function of Magnetic Field (T).

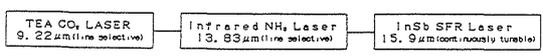


Fig. 6 Tunable 15.9 μm InSb SFR Laser Pumped with 13.83 μm Line of Infrared NH₃ Laser.

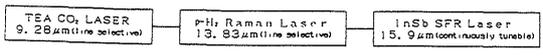


Fig. 7 Tunable 15.9 μm InSb SFR Laser Pumped with 13.83 μm Line of p-H₂ Raman Laser.

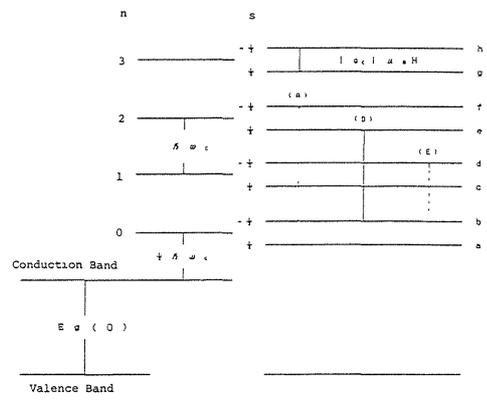


Fig. 4 Landau Level Diagram in Conduction Band of InSb. (As for (A), (D) and (E), see Fig. 5.)

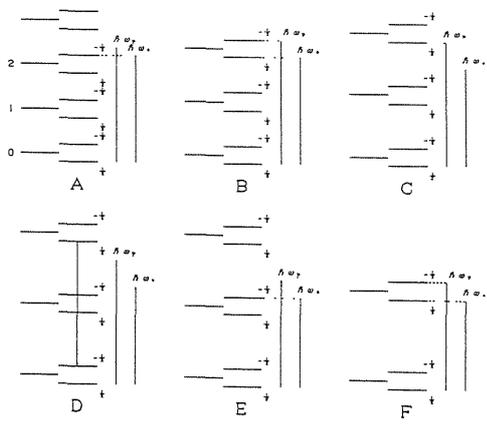


Fig. 5 Several cases in which Pumping Laser Photon Energy ($\hbar\omega_p$) and/or InSb SFR Laser Photon Energy ($\hbar\omega_s$) Coincide(s) with Energy Differences between Landau Levels with increasing in Magnetic Field.

Transition	CO ₂ Laser		PARA-H ₂ Laser		Magnetic Field for 15.9 μm InSb SFR LASER
	λ [μm]	[cm ⁻¹]	λ [μm]	[cm ⁻¹]	
R(62)	9.99347	1000.69	13.4171	745.32	5.9 [T]
R(63)	9.99322	1000.93	13.4208	745.56	
R(64)	9.99297	1001.17	13.4244	745.79	
R(65)	9.99272	1001.41	13.4280	746.02	
R(66)	9.99247	1001.65	13.4316	746.25	
R(67)	9.99222	1001.89	13.4352	746.48	
R(68)	9.99197	1002.13	13.4388	746.71	
R(69)	9.99172	1002.37	13.4424	746.94	
R(70)	9.99147	1002.61	13.4460	747.17	
R(71)	9.99122	1002.85	13.4496	747.40	
P(62)	9.99100	1003.00	13.4532	747.63	5.5 [T]
P(63)	9.99075	1003.24	13.4568	747.86	
P(64)	9.99050	1003.48	13.4604	748.09	
P(65)	9.99025	1003.72	13.4640	748.32	
P(66)	9.99000	1003.96	13.4676	748.55	
P(67)	9.98975	1004.20	13.4712	748.78	
P(68)	9.98950	1004.44	13.4748	749.01	
P(69)	9.98925	1004.68	13.4784	749.24	
P(70)	9.98900	1004.92	13.4820	749.47	
P(71)	9.98875	1005.16	13.4856	749.70	
P(62)	9.98853	1005.31	13.4892	749.93	5.0 [T]
P(63)	9.98828	1005.55	13.4928	750.16	
P(64)	9.98803	1005.79	13.4964	750.39	
P(65)	9.98778	1006.03	13.5000	750.62	
P(66)	9.98753	1006.27	13.5036	750.85	
P(67)	9.98728	1006.51	13.5072	751.08	
P(68)	9.98703	1006.75	13.5108	751.31	
P(69)	9.98678	1006.99	13.5144	751.54	
P(70)	9.98653	1007.23	13.5180	751.77	
P(71)	9.98628	1007.47	13.5216	752.00	
P(62)	9.98606	1007.62	13.5252	752.23	4.2 [T]
P(63)	9.98581	1007.86	13.5288	752.46	
P(64)	9.98556	1008.10	13.5324	752.69	
P(65)	9.98531	1008.34	13.5360	752.92	
P(66)	9.98506	1008.58	13.5396	753.15	
P(67)	9.98481	1008.82	13.5432	753.38	
P(68)	9.98456	1009.06	13.5468	753.61	
P(69)	9.98431	1009.30	13.5504	753.84	
P(70)	9.98406	1009.54	13.5540	754.07	
P(71)	9.98381	1009.78	13.5576	754.30	
P(62)	9.98359	1009.93	13.5612	754.53	3.8 [T]
P(63)	9.98334	1010.17	13.5648	754.76	
P(64)	9.98309	1010.41	13.5684	754.99	
P(65)	9.98284	1010.65	13.5720	755.22	
P(66)	9.98259	1010.89	13.5756	755.45	
P(67)	9.98234	1011.13	13.5792	755.68	
P(68)	9.98209	1011.37	13.5828	755.91	
P(69)	9.98184	1011.61	13.5864	756.14	
P(70)	9.98159	1011.85	13.5900	756.37	
P(71)	9.98134	1012.09	13.5936	756.60	
P(62)	9.98112	1012.24	13.5972	756.83	3.3 [T]
P(63)	9.98087	1012.48	13.6008	757.06	
P(64)	9.98062	1012.72	13.6044	757.29	
P(65)	9.98037	1012.96	13.6080	757.52	
P(66)	9.98012	1013.20	13.6116	757.75	
P(67)	9.97987	1013.44	13.6152	757.98	
P(68)	9.97962	1013.68	13.6188	758.21	
P(69)	9.97937	1013.92	13.6224	758.44	
P(70)	9.97912	1014.16	13.6260	758.67	
P(71)	9.97887	1014.40	13.6296	758.90	
P(62)	9.97865	1014.55	13.6332	759.13	2.5 [T]
P(63)	9.97840	1014.79	13.6368	759.36	
P(64)	9.97815	1015.03	13.6404	759.59	
P(65)	9.97790	1015.27	13.6440	759.82	
P(66)	9.97765	1015.51	13.6476	760.05	
P(67)	9.97740	1015.75	13.6512	760.28	
P(68)	9.97715	1015.99	13.6548	760.51	
P(69)	9.97690	1016.23	13.6584	760.74	
P(70)	9.97665	1016.47	13.6620	760.97	
P(71)	9.97640	1016.71	13.6656	761.20	
P(62)	9.97618	1016.86	13.6692	761.43	1.9 [T]
P(63)	9.97593	1017.10	13.6728	761.66	
P(64)	9.97568	1017.34	13.6764	761.89	
P(65)	9.97543	1017.58	13.6800	762.12	
P(66)	9.97518	1017.82	13.6836	762.35	
P(67)	9.97493	1018.06	13.6872	762.58	
P(68)	9.97468	1018.30	13.6908	762.81	
P(69)	9.97443	1018.54	13.6944	763.04	
P(70)	9.97418	1018.78	13.6980	763.27	
P(71)	9.97393	1019.02	13.7016	763.50	
P(62)	9.97371	1019.17	13.7052	763.73	1.5 [T]
P(63)	9.97346	1019.41	13.7088	763.96	
P(64)	9.97321	1019.65	13.7124	764.19	
P(65)	9.97296	1019.89	13.7160	764.42	
P(66)	9.97271	1020.13	13.7196	764.65	
P(67)	9.97246	1020.37	13.7232	764.88	
P(68)	9.97221	1020.61	13.7268	765.11	
P(69)	9.97196	1020.85	13.7304	765.34	
P(70)	9.97171	1021.09	13.7340	765.57	
P(71)	9.97146	1021.33	13.7376	765.80	
P(62)	9.97124	1021.48	13.7412	766.03	1.1 [T]
P(63)	9.97099	1021.72	13.7448	766.26	
P(64)	9.97074	1021.96	13.7484	766.49	
P(65)	9.97049	1022.20	13.7520	766.72	
P(66)	9.97024	1022.44	13.7556	766.95	
P(67)	9.96999	1022.68	13.7592	767.18	
P(68)	9.96974	1022.92	13.7628	767.41	
P(69)	9.96949	1023.16	13.7664	767.64	
P(70)	9.96924	1023.40	13.7700	767.87	
P(71)	9.96899	1023.64	13.7736	768.10	

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