

# Yb:YLFレーザーの吸収・放出機構と波長可変特性

電子工学科 井上 典洋

## 1 はじめに

Ybドープレーザー材料は大きく2準位に見えるエネルギー構造であるため、励起状態吸収がなく、非輻射遷移による損失が小さいという利点がある。広く使われているNdドープの結晶と比べると上準位寿命が長いこと、エネルギー蓄積能力が高く、小さな結晶からでも大きなエネルギーが得られる。一方、低利得かつ下準位の分裂幅が狭い準3準位動作であるため基底準位は熱による吸収の影響を強く受ける。そのためレーザー発振には下準位の吸収を飽和させなければならず、効率良く吸収を飽和させるためには励起準位の慎重な選択が必要となる。本論文では熱光学効果が小さいYLFを母体材料にしたYb:YLFの分光学的特性と波長可変特性について測定し、吸収放出の機構を実験的に解析することを目的とする。

## 2 低温分光でのスペクトル

Yb:YLF結晶を極低温に冷却することで熱振動によるスペクトル広がりを抑え、下準位の熱による励起をほとんどなくすることができる。よって常温でのスペクトルでは見られなかったピークが現れるようになり、エネルギー準位についての検討が可能になる。測定は290K~13Kの間で行った。

### 2.1 吸収スペクトル

まず、吸収スペクトルの測定方法を説明する。クライオスタット内に金メッキされた無酸素銅製で直径3mmの穴の開いたホルダに結晶を固定し、コア径400 $\mu$ mの光ファイバーで結合された白色光源光をコリメートし結晶に照射する。結晶を透過した光をグレーティングで波長分割し、冷却型InGaAsリニアイメージセンサで測定(900~1100nm)を行った。白色光のスペクトルから吸

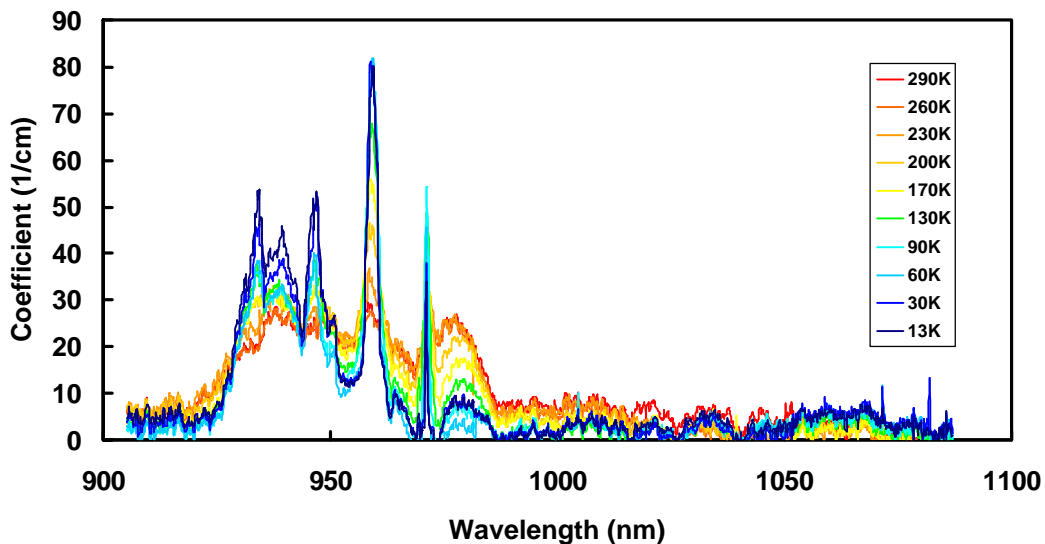


図1 Yb:YLF 偏光(c E) 吸収スペクトル

収係数を求めることができる。YLF結晶は1軸性であるため入射光は結晶の手前にグラ

ープリズムで直線偏光にし、光学軸上に対して平行、垂直の2方向に対して測定する。冷却によるスペクトルの変化を見ることにより基底準位から3つの上準位への遷移を証明でき、新たに935nm 948nm 972nmのピークが明らかになった。(図1)

## 2.2 蛍光スペクトル

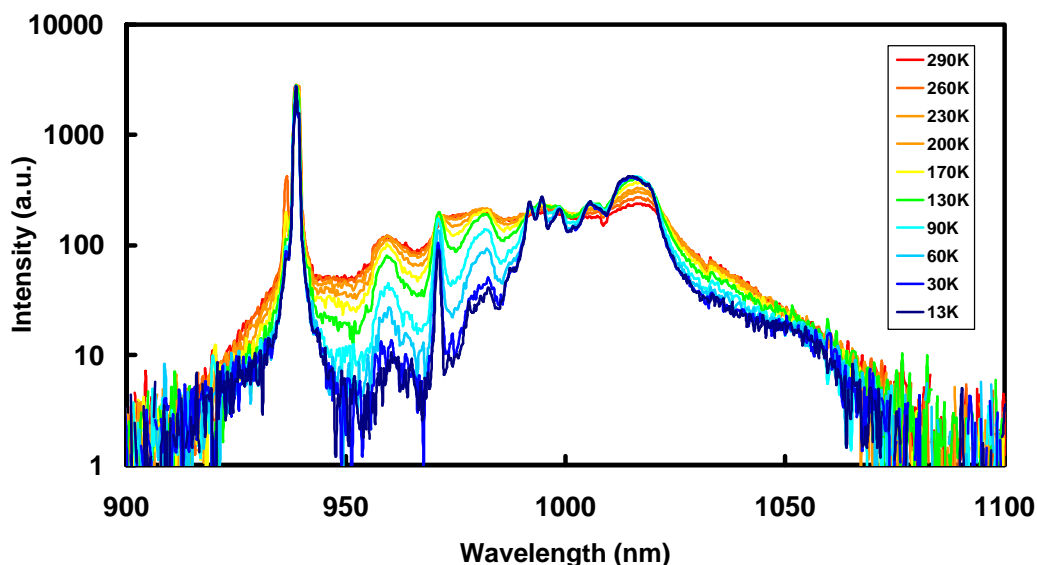


図2 Yb:YLF 偏光(c E) 蛍光スペクトル

次に、蛍光スペクトルの測定法を説明する。940nmの半導体レーザー光で結晶面に集光するようにレンズを配置し、結晶を励起する。ここでも偏光方向を選択するために結晶の手前にプリズムを配置する。結晶からの蛍光をレンズでコリメートし、プリズムで偏光方向を選択する。プリズムを透過した光を集光して分光器へ入射させ測定を行った。

冷却によるスペクトルの変化を見ることにより細かな準位間の遷移を証明することができ、新たに下準位群の下から3番目の準位からの遷移である983nm 999nmと2番目の準位からの遷移である995nmのピークが明らかになった。(図2)

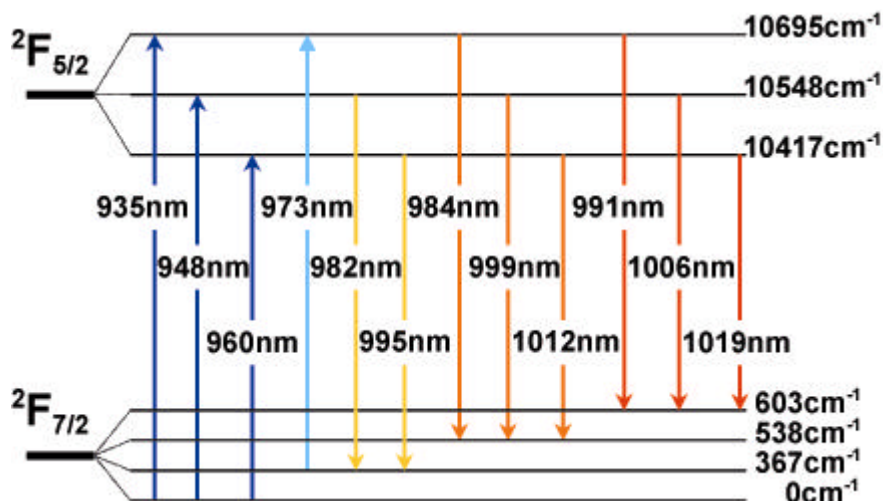


図3 Yb:YLFエネルギー準位図

### 3 励起 - 放出機構

これまで知られているYb:YLFのエネルギー準位図<sup>1)</sup>は室温における分光特性から求められたものであった。本実験における低温分光によって得られたスペクトルの新たな遷移波長のピークからより正確なエネルギー準位図の特定を行った。(図3)

この結果から、吸収断面積が大きい960nmの遷移は励起には向いていないことが分かり、940nm付近での励起が最適であることが分かった。次に放出については1012nmと1020nmの発振が期待できる。しかし、実際の発振波長は1040~1050nmの間で報告されており、このことを検証するには低温での発振実験を行うことが必要である。

### 4 波長可変特性

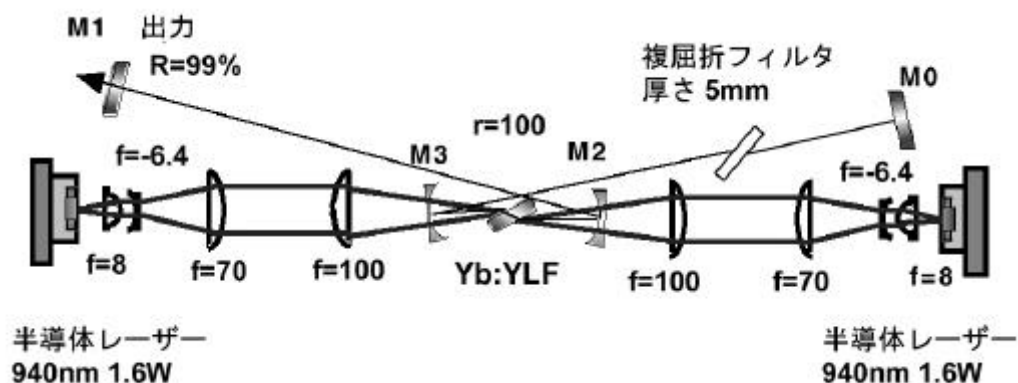


図4 波長可変測定共振器

Yb:YLFは発振波長範囲が広いといわれており、実際に波長可変範囲がどのくらいあるのか特定するため測定を行った。厚さ5mm複屈折フィルターをレーザー共振器中にプリユスター角で配置して波長可変を行った。(図4)

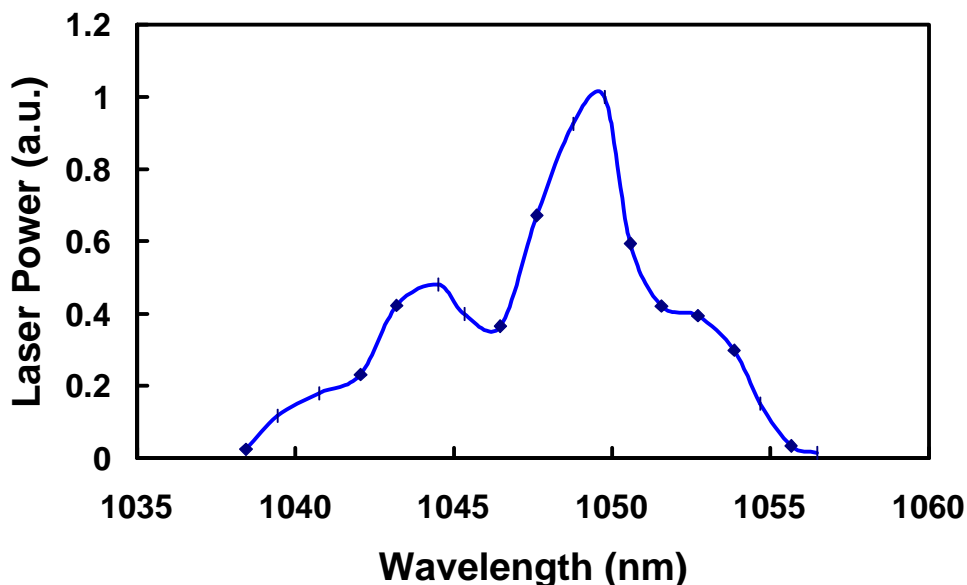


図5 波長可変特性

フリーランニング時には発振波長1049nm、出力16mWの状態であったレーザー共振器内に複屈折フィルターを配置して測定を行った結果、1038nm~1056nmの波長可変域があることが分かった。(図5)

この結果から18nmの波長可変幅の利得帯域幅は次式より

$$dv = -\frac{c}{2}d = \frac{3 \times 10^8 \times 18 \times 10^{-9}}{(1047 \times 10^{-9})^2} = 4.9 \times 10^{15} \text{ と} \text{ 約} 4.9 \text{ THz} \text{ であることがわかり、ま}$$

$$\text{た増幅可能な最小パルス幅は次式より} \quad = \frac{k}{4.9 \times 10^{12}} = \frac{0.32}{4.9 \times 10^{12}} = 6.53 \times 10^{-14} \text{ と} \text{ 約} 65.3 \text{ fs}$$

であることが明らかになった。

## 5 まとめ

極低温での吸収、蛍光スペクトルを測定し、熱振動によるスペクトルの広がりをおさえ、下準位の熱による励起をほとんどなくすことができたスペクトルから下準位の細かな分裂が関係した吸収、放出線を初めて明らかにした。その結果から新しいエネルギー準位を特定することができた。これにより、励起-放出機構の解析を行うことができ、940nm付近の波長が高効率の励起に適していることが分かった。

波長可変特性の測定により1038~1056nmにわたる18nmの増幅帯域があることが分かった。そして、CWフリーランニング時の発振波長において出力が最大であることが分かった。さらに波長可変範囲から、4.9THzの利得帯域で最小パルス幅65.3fsの超短パルスレーザー材料であることを明らかにした。

## 参考文献

- 1) Noboru Uehara, Ken-ichi Ueda and Yoshinori Kubota:  
"Spectroscopic Measurements of a High-Concentration Yb<sup>3+</sup>:LiYF<sub>4</sub> Crystal", Jpn. J. Appl. Phys. vol.35(1996)pp.L499-501.