有機結晶LAP位相共役鏡による固体レーザーの高性能化

吉田 英次, 藤田 尚徳, 中塚 正大, 吉村 政志*, 佐々木 孝友*, 吉田 国雄**

大阪大学レーザー核融合研究センター (〒565 吹田市山田丘2-6)

* 大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻 (〒565 吹田市山田丘2-1)

** 大阪工業大学電子工学科 (〒535 大阪市旭区大宮5-16-1)

Improvement of Solid State Laser Performance by Phase-Conjugation Mirror Using a LAP Crystal

Hidetsugu YOSHIDA, Hisanori FUJITA, Masahiro NAKATSUKA, Masashi YOSHIMURA*

Takatomo SASAKI*, and Kunio YOSHIDA**

Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6 Yamada-oka, Suita Osaka 565

** Department of Electrical Engineering, Osaka University, 2-1 Yamada-oka, Suita Osaka 565*

*** Department of Electronic Engineering, Osaka Institute of Technology, 5-16-1 Ohmiya, Asahi-ku Osaka 535*

(Received December 19, 1996)

Organic L-Arginine Phosphate Monohydrate (LAP) crystal showed much lower threshold (6mJ/18ns) stimulated Brillouin scattering (SBS) at 1.06 μ m wavelength than fused silica, and higher SBS reflectivity of approximately 65% (inherently 93%) limited due to its absorbance. The reason why LAP crystal has a high damage threshold at Q-switched pulse operation is explained due to the SBS backward reflectance. We have demonstrated the improvement of wavefront distortion induced by thermal effects in solid-state laser materials. Deuterated LAP crystal is very interesting not only as a frequency converter but also as a phase conjugated SBS mirror for all solid-state high-energy lasers because of high SBS gain coefficient and its low absorbance.

Key Words: Phase conjugation, Stimulated Brillouin scattering; SBS, L-arginine phosphate monohydrate; LAP High power laser, Wavefront correction

1. はじめに

位相共役波の発生方法には、主に誘導散乱¹⁾やフォトリフラクティブ効果²⁾等があり、著者らは高出力固体レーザーの波面補正方法として、誘導ブリルアン散乱(SBS)³⁻⁵⁾による位相共役鏡を検討してきた。これは、入射電界が非線形媒質(ガス、液体、固体等)中で誘起する三次の非線形現象により、入射電界の全空間位相を瞬時に反転し、共役波面を発生する方法である。この位相共役効果により、空間波面の形が同じで伝搬方向が完全に逆転した波を発生できる。この特性を利用すれば、レーザー光が光学的に不均質な媒質を伝搬する場合に発生する波面収差を同一路の逆進行により補正できるため、画期的かつ簡便である。この方法は、高出力レーザー増幅器で誘起される波面の乱れの補正⁶⁻¹⁰⁾やマルチモードファイバー画像処理¹¹⁾におけるひずみ補正等への応用が期待されている。本報告ではピークパワーの高い繰り返し動作固体レーザーの波面補正に重点を置き、検討した結果を述べる。

SBS位相共役鏡として研究されている主な媒質¹²⁾は、気体(N₂, SF₆, Xe, CH₄他)、液体(四塩化物系、フッ化炭化水素系他)が中心であり、固体媒質の研究はブリルアン散乱の分

光研究による物性値評価例¹³⁾はあるが、位相共役鏡としての研究はレーザー損傷等の問題からあまり研究されていない。我々は、取り扱いが簡単で、小型化、高感度、安定性が期待でき、高いレーザー耐力を持つ固体媒質を用いたSBS位相共役鏡として有機Lアルギニンリン酸(LAP)結晶について検討した。

LAP結晶は従来用いられてきたKDP結晶に代わる慣性核融合用大型波長変換非線形光学結晶として、1983年に中国の山東大学で最初に報告された¹⁴⁾。この結晶は大型化が可能で、高いレーザー損傷しきい値¹⁵⁾と高いSBS利得係数¹⁶⁾を持つことが報告されており、SBS固体媒質としての可能性を秘めている。

本報告では、LAP結晶のレーザー損傷しきい値とSBS発生の関係、SBS物理定数(利得、周波数シフト)およびSBS特性(反射率と忠実度)を測定した結果を述べる。また、LAP結晶SBS位相共役鏡とYAGレーザー増幅器の組み合わせにより、高繰り返し増幅器の波面補償実験を行い、その実用性を初めて示した。

2. SBS 物理定数

2.1 レーザー損傷とSBS反射

ガスや液体はレーザー誘起絶縁破壊(ブレイクダウン)が発生しても損傷痕跡が残らないため、励起レーザーによる光劣化がない限り繰り返し使用可能である。しかし、固体は一度ダメージが発生すると同一箇所にレーザーを照射することが困難となるため、使用する媒質のレーザー耐力を把握することが重要である。

レーザー損傷しきい値計測には、単一縦モードQスイッチYAGレーザー波長1.06 μm 、パルス幅1.1nsと18nsを焦点距離 $f=100\text{mm}$ の単レンズを用いてLAP結晶に集光した。集光スポット径は約150 μm である。パルス幅1.1nsの場合、SBS反射波が発生するしきい値に到達する時間(LAP結晶の音響緩和時間、約8ns程度)より速い立ち上がりパルス(0.5ns)を入射することにより、SBS発生を抑制できるため真の内部損傷しきい値を測定できる。Table IIは2種類のパルス幅に対して、石英およびLAP結晶の入射面と偏光方向に対する各パルス幅でのレーザー損傷しきい値を示す。

1.1nsパルスに対する内部損傷しきい値(フルエンス)は、石英ガラスでは約 $28 \pm 3 \text{ J/cm}^2$ であった。一方、LAP結晶では、p偏光のレーザー光を劈開面(a面)より入射し、偏光方向に対しb軸又はc軸を平行に配置した時、b軸では $28 \pm 3 \text{ J/cm}^2$ 、c軸では 80 J/cm^2 であった。c軸方向の損傷しきい値は石英ガラスに比べ約3倍高い値を示し、報告されている内部損傷しきい値¹⁷⁾9.8 - 13.4 J/cm^2 に比べ非常に高い値を示した。レーザー強度の増加によるLAP結晶内部の集光スポット径の変化は観測されず、石英の場合と同じであった。また、LAP結晶を透過するエネルギーの入射エネルギーに対する依存性を測定した結果、非線形現象(誘導ラマン散乱等)による透過率の低下は観測されなかった。

次に、18nsパルスでの内部損傷は、SBSの反射率と内部吸収損失を考慮して損傷しきい値を求めた。石英ガラスの場合、SBS反射しきい値は入射エネルギー約15mJ、損傷しきい値約20mJであった。SBS反射率(約5%)を考慮すると石英内部に集光したレーザーフルエンスは約 120 J/cm^2 である。LAP結晶の場合、b軸方向での偏光を入射した時、入射エネルギー約60mJで内部損傷(反射、吸収を考慮しない集光フルエンス 376 J/cm^2)が発生した。この時SBS反射率55%と吸収損失20%を考慮すると、結晶内部に集光されたレーザーフルエンスは約 130 J/cm^2 となった。この値は、1.1nsパルスで得られた内部損傷フルエンスからパルス幅の平方

根比例則(熱的破壊)¹⁸⁾により求めた値 120 J/cm^2 とほぼ同じ値を示した。c軸に平行の時は、入射エネルギー約200mJ(集光点でのフルエンス 1200 J/cm^2)まで増加したが、内部損傷は観測されなかった。この時のSBS反射率70%、吸収損失20%より求めた内部レーザーフルエンスは約 260 J/cm^2 である。この値は、パルス幅比例則より求めた内部損傷フルエンス約 360 J/cm^2 に比べ低いため、内部損傷発生は観測されなかったものと思われる。

以上のことから、LAP結晶は高いSBS反射率と高いレーザー耐力を有することから、高出力レーザー動作においての位相共役鏡としては、等価入力で極めて高い入射エネルギーまで使用できる有望なSBS媒質である。

2.2 周波数シフト量とSBS利得係数

LAP結晶のブリルアン散乱周波数シフト量測定は、YAGレーザーのKTP結晶による2倍高調波を励起光として用い、ファブリーペロー干渉計により測定した。測定配置および干渉写真をFig.1に示す。励起光は、50%ミラーにより2ビームに分割し、通常ミラーとLAP結晶のSBS反射光により周波数シフト量を測定した。石英の周波数シフト量約 1.09 cm^{-1} (32.7GHz)に対し、b軸に平行偏光入射でのLAP結晶のシフト量は約 0.65 cm^{-1} (19.5GHz)となり、石英の約1/2である。周波数シフト量は励起波長に反比例することから、YAGレーザーの基本波での周波数シフト量は約 0.33 cm^{-1} (9.75GHz)である。この周波数シフト量は液体SBS媒質などの値の約3倍である。YAGレーザー光のスペクトル線幅は約180GHzであり、周波数シフト量は増幅特性上、問題としない。

LAP結晶のSBS利得係数は、(1)パルス幅18nsと40nsのSBS発生しきい値エネルギーと(2)40nsパルスの透過パルス波形においてプラトーを形成する強度(準定常状態)から求めた。一般に定常状態での利得係数をSBS発生しきい値より求める場合、媒質の音響緩和時間の約10倍以上のパルス幅で入射する必要がある。しかしながら、我々は過渡状態でのSBSしきい値から定常状態の利得係数 g_B を(1)式より求めた¹⁹⁾。

$$g_B = \lambda \cdot \frac{20}{2mE_{th}} \left(7.5\tau_R + t + \frac{t^2}{30\tau_B} \right) \quad (1)$$

ここで、 λ は励起波長[cm]、 E_{th} はSBSしきい値エネルギー

Table I Laser induced damage threshold of LAP and fused silica glass.

Materials	1.1ns			18ns			Scaled ^(b) threshold (J/cm ²)
	Incident ^(a) fluence (J/cm ²)	SBAS reflectance (%)	Damage threshold (J/cm ²)	Incident ^(a) fluence (J/cm ²)	SBS reflectance (%)	Damage threshold (J/cm ²)	
LAP //c	85	0	85	1200	70	>280	344
LAP //b	28	0	28	375	55	130	113
crystal Eimerl ^(c) et al.			9.8 - 13.4				
Fused silica glass	28	0	28	125	5	120	113

Focus position in inside sample at 5mm (absorption loss 4.5%), 1.1ns pumping

25mm (absorption loss 20%), 1.8ns punping

^(a) This value is calculated from the incident energy by the spot size at focus position.

^(b) This value is obtained by scaling from the damage threshold at 1.1ns.

^(c) Reference⁽¹⁷⁾

[J], t は励起パルス幅[s], τ_B は媒質の音響緩和時間[s]である。また, m はSBSノイズ発生しきい値ファクターで, 0.9から1.0である。

LAP結晶および石英ガラスを2種類のパルス幅で励起した時, SBS反射しきい値エネルギーとSBS利得係数をTable IIに示す。(1)式のSBS発生しきい値より求めた定常状態での利得係数は, 石英ガラスの場合約3.65cm/GWが得られ, 計算値3.7cm/GW²⁰⁾とほぼ一致した。LAP結晶のc軸方向(a面)の利得係数は約9.5 - 11cm/GWとなり, 石英の約3倍であった。また, 透過波形から求めたSBS利得係数は, 石英に対する報告値2.9²¹⁾あるいは4.3²⁰⁾cm/GWを基準とする相对比较計測によると約9 - 12.9cm/GWとなった。よって, LAP結晶は液体媒質(例えばアセトンでは14cm/GW)と同様に高いSBS利得係数を有することがわかった。

3. SBS特性

3.1 SBS反射率特性

パルス幅18nsの場合のLAP結晶のSBS反射率特性測定配置をFig.2に示す。測定に使用したLAP結晶の寸法は30×30×30mm³で, p偏光のレーザー光は劈開面a面のb軸又はc軸に平行な偏光で入射した。集光レンズは焦点距離 $f=100$ mmの単レンズを用い, 入射表面での損傷を防止するため, 表面から約25mmの結晶位置に集光した。反射率測定は通常の高反射率鏡の反射率(99.5%)を参照値とし, LAP結晶の入射, 反射および透過波形とLAP結晶の有無時の透過エネルギーから求めた。Figure 3にLAP結晶および石英ガラスにおいて入射エネルギーに対するSBS反射率特性を示す。石英ガラスではSBS発生しきい値約15mJ, 内部ダメージ発生しきい値20mJである。一方, LAP結晶ではbおよびc軸方向

共にSBS発生は入射エネルギー約6mJであった。表面反射(5%)と内部吸収損失(20%/25mm)を考慮したSBSしきい値は約4.5mJである。結晶内部の焦点位置を入射表面より5mmとした時のSBSしきい値は, 4.5mJであった。b軸偏光の時, 入射エネルギー約60mJで内部ダメージが発生し, この時のSBS反射率は約50%であった。又, c軸偏光では入射エネルギーを約200mJまで増加したが, 内部ダメージは発生せず, SBS反射率65%以上が得られた。最大入射エネルギーは結晶の表面ダメージによって制限された。LAP結晶の最大反射率は入射面の2度通過によるフレネル反射損失約10%とLAP結晶の吸収損失約20%(吸収係数8 - 9%/cm)を考慮すると最大反射率は約72%となり, 測定した最大反射率65%は内部換算すると実質90%以上である。

3.2 ビーム忠実度

反射ビーム忠実度測定は, LAP結晶からのSBS反射ビームの一部が焦点距離 $f=3000$ mm単レンズの焦点付近に設

Fig.2 Experimental arrangement for measurement of SBS reflectivity in LAP crystal and fused silica glass at 1.06μm wavelength.

Fig.1 Schematic arrangement for measurement of Brillouin frequency shift in LAP crystal and fused silica glass at 0.53μm wavelength.

Fig.3 SBS reflectivities of LAP crystal and fused silica glass at a pumping wavelength of 1.06μm.

Table II SBS threshold energy and gain coefficients of LAP and fused silica glass.

Materials	Laser condition		SBS threshold energy [mJ]		SBS gain coefficient [cm/GW]		
	Pump polarization	Pump direction	18ns	40ns	Calculated	Estimated from eq. (1)	
						18ns	40ns
Silica glass			15	25	3.7	3.5	3.8
LAP	c	a	4.5	12		9.5	11
		(cleaved surface)					9 - 12.9

Fig.4 SBA fidelity versus incident energy with an LAP crystal at a pumping wavelength of 1.06 μ m.

置した口径約0.98mmのピンホールを通過するエネルギー透過率から求めた²²⁾。通常の高反射鏡を用いた場合、ピンホールへの入射と透過エネルギー比率を1.0として、LAP結晶の反射ビームを評価した。入射エネルギーに対するビーム忠実度をFig.4に示す。使用したQスイッチYAGレーザーは最大入射エネルギー約50mJ、繰り返し率10Hzである。SBS発生しきい値付近の入射エネルギーでは、回折格子の形成が不安定であるため忠実度に変動が見られるが、高い入射エネルギー動作でのビーム忠実度は 1.0 ± 0.1 と良好な結果が得られた。データの変動は、LAP結晶への入射ビームのポインティング変動である。また、1.0を越える忠実度はSBS効果により空間高次モードが反射されず、基本モードのみが反射されたことによる空間フィルタリング効果である。

4. 波面補償実験

我々は高繰り返しYAG増幅器において、励起光吸収によるYAG媒質の熱的波面収差をLAP結晶を用いたSBS位相共役鏡により補正するビーム性能高品質化実験を行い、LAP結晶の信頼性、実用性を調べた。

4.1 高繰り返しYAGレーザー増幅器のビーム性能の高品質化

Fig.5 Experimental layout for the improvement of wavefront distortion of Nd:YAG amplifier system by an LAP-SBS mirror.

Figure 5に高繰り返しYAG増幅器の波面補償実験配置図を示す。入射レーザー光には単一縦モードQスイッチYAGレーザー(パルス幅18ns, 最大エネルギー100mJおよび繰り返し周波数10Hz)を用いた。入射レーザー光は誘電体多層膜偏光子を通過後、YAG増幅器(口径10mm×長さ100mm)で増幅され、偏光軸はファラデー回転子によって45度回転した後、焦点距離 $f = 150\text{mm}$ の単レンズを用いてLAP結晶に集光した。反射率特性において最大反射率が得られたc軸に平行な偏光方向より結晶に入射した。LAP結晶からのSBS反射光は同一光路を逆進し、再びファラデー回転子を通することにより偏光軸は入射p偏光に対して90度回転する。その後、YAG増幅器で再び増幅された反射光は、偏光子によって取り出される。

SBS反射を用いた2度通過YAG増幅特性では、入射、反射波形および反射エネルギーを通常の高反射鏡(99.5%)を用いた場合と比較した。反射ビーム特性は近視野像および遠視野像を測定した。反射ビーム忠実度は3.2の測定と同様に焦点距離 $f = 3000\text{mm}$ の単レンズを用いた時のアパーチャー透過率により、評価した。

Figure 5の実験配置図を用いて、通常の高反射鏡とLAP結晶SBS位相共役鏡のそれぞれを用いた増幅特性を比較した。入射レーザーエネルギーに対する2パス増幅後の出力エネルギー特性をFig.6に示す。増幅器の励起電気エネルギー50J、繰り返し10Hzの場合、LAP結晶SBSを用いた増幅出力はSBS反射率に依存するため、低入力レーザー動作では、通常の高反射鏡に比べ低い増幅特性を示した。レーザーエネルギー60mJの場合、高反射鏡では最大出力約300mJが得られたが、LAP結晶SBSは最大出力約220mJとなった。この時のLAP結晶への入射エネルギーは約130mJ、SBS反射率は約60%である。しかしながら、2パス目の増幅器の利得飽和により、高反射鏡とLAP結晶でのレーザー出力比は約73%となった。このため、励起強度を増加した時、媒質の利得飽和によりSBS反射率の影響は軽減される。

YAGレーザー媒質は励起エネルギーが増加すると熱負荷が大きくなり、ロッドの径方向に温度分布が発生し、YAGロッドは凸の熱レンズ効果を示し、出射ビーム性能が大幅に低下する。このため、LAP結晶を用いたSBS位相共

Fig.6 The output energy as a function of pumping energy with the double pass Nd:YAG amplifier system.

Fig.7 The compensation of the thermal lens effect with the double pass Nd:YAG amplifier system by an LAP-SBS mirror.

Fig.8 Far-field fidelity on output beam with an LAP-SBS mirror as a function of input energy. The dash line represents the expected pinhole transmission for $1.3 \times D.L.$.

役鏡による熱レンズ効果の補償を調べた。YAG増幅器の励起エネルギーに対する遠視野用 $f=3000\text{mm}$ の焦点位置の変化をFig.7に示す。通常の高反射鏡を用いた場合、入射レーザー光は熱レンズ効果の発生した増幅器を往復で2回通過することにより、 $f=3000\text{mm}$ レンズとの合成焦点距離は励起エネルギーの増加と共に短くなった。最大励起電気エネルギー50J(最大平均入力500W)の時、焦点位置は1350mmとなった。一方、LAP結晶SBS反射鏡を用いた場合、結晶が位相共役鏡として動作するため、励起エネルギーを50Jまで増加したが、遠視野用レンズの焦点位置は変化せず、3000mm一定であった。この結果より、YAG増幅器の熱レンズ効果の補償が可能であることが分かった。

LAP結晶により反射、増幅されたビーム性能は3.2節と同様な測定配置を用いて、遠視野ビーム忠実度として評価した。LAP結晶への励起エネルギーに対する反射ビームのピンホール透過率をFig.8に示す。入射ビームの拡がり角は回折限界の1.3倍であり、ピンホール透過率($1/e^2$)は約86%である。通常の高反射鏡を用いた場合、ロッドの励起分布の不均一と熱レンズ効果、熱複屈折等により波面が歪み、励起エネルギーを増加すると反射ビームのピンホール透過率は大幅に低下する。よって、入射ビームに比べ増幅されたビーム品質は大きく低下する。LAP結晶によるSBS位相

共役鏡を用いた場合、結晶に最大入射エネルギー約150mJ(平均入力1.5W)まで入射したが、入射ビーム性能を維持した。このことから、高反射鏡に対するLAP結晶SBS反射鏡を用いた時の増幅後の出力エネルギー比率0.73(=2.2W/3W)およびビーム忠実度比率2.9(=0.86/0.3)より、各比率を乗じた増幅出力光のビーム品質(輝度)は約2倍以上向上した。

また、通常の高反射鏡では、熱レンズ効果により増幅出力ビームが自己集束し、レーザーロッドや光学素子等にレーザー損傷が発生するため、出力が制限される。SBS反射鏡を用いた場合、熱レンズ効果の補償と同一光路を再び通過するためファラデー回転子による熱複屈折がほぼ完全に補償されるため、高い励起強度動作においても高品質、高出力が可能である。

4.2 LAP結晶の熱レンズ効果

液体媒質を用いたSBS発生では、セル内でのレーザー光による熱効果によりレーザービームの熱拡散効果を発生し、集光強度が低下する。また、温度差による媒質の対流や乱流が発生するため、集光スポットが分離する結果、位相が時間的に固定されず反射率の変動および忠実度が低下する²³⁾。単一横モードパルスを屈折率温度依存値 dn/dT が負の媒質に入射した場合、熱効果によりレンズの回折限界集光スポット径でのエネルギー強度が1/2に減少するときの熱的発散臨界エネルギー E_{cr} によって特徴づけられる。臨界エネルギー²⁴⁾は、

$$E_{cr} = \frac{2\pi \cdot \rho \cdot C}{\left(\frac{\partial n}{\partial T}\right) \cdot \alpha \cdot k^2} \quad (2)$$

で表される。ここに、 $k(=2\pi/\lambda)$ はレーザー光の波数、 λ はレーザー波長、 ρ , C , α , T , n はそれぞれ媒質の密度、比熱、吸収係数、温度および屈折率である。

レーザービームの熱的発散は式(2)の E_{cr} 以下の入射エネルギーに対して無視できる。ところが繰り返しレーザー光をSBS媒質に入射させた場合、媒質内での蓄熱効果によって熱的発散が生じる。言い換えれば、集光点のウエストを熱拡散時間 t 中に透過する全エネルギーが E_{cr} 以下であれば熱的発散は無視できる。LAP結晶の E_{cr} は約2mJであり、アセトンの0.3mJに比べ桁大きい。また、実験に使用した $f=150\text{mm}$ のレンズの焦点スポットの2乗約 $4.2 \times 10^{-5}\text{cm}^2$ と熱拡散係数(LAP結晶： $5.3 \times 10^{-3}\text{cm}^2/\text{s}$ 、アセトン： $1.1 \times 10^{-3}\text{cm}^2/\text{s}$)より求めた熱拡散時間は、LAP結晶では7.8msに対しアセトンは約37.7msである。よって、動作可能な臨界パワーは、LAP結晶では約0.26W(2mJ, 128Hz)に対しアセトンは約0.008W(0.3mJ, 26.5Hz)であり、LAP結晶はアセトンに比べ約30倍以上繰り返し動作が可能である。

負の dn/dT 値をもつ媒質にCW-YAGレーザー光を照射し、熱拡散レンズ効果を測定した。位相共役鏡としてLAP結晶、DLAP結晶とアセトンを用いた場合について、入射パワーを変え、透過ビームを焦点距離 $f=500\text{mm}$ レンズで集光した遠視野像の測定結果をFig.9に示す。媒質の温度に対する屈折率変化 dn/dT 値は負であることから、吸収による

Fig.9 Variation of far-field patterns due to the thermal defocusing effects using a CW Nd:YAG laser.

放物線型温度分布が発生すると、負の放物線型屈折率分布が生じ凹レンズ特性を示す。

アセトンを用いた時は、セル内のビームは上半分が媒質の対流によって拡散するため、集光ビームが乱れ、分離する。よって、熱的発散臨界エネルギーまでしか動作できない。また、アセトンの dn/dT 値は 10^{-4} オーダーであり、LAP結晶に比べ桁大きいいため熱レンズ効果が大きい。固体では液体の様な対流は見られないことから、熱拡散レンズ効果が発生しても集光スポットの分離や移動は発生しないと考えられる。よって、臨界エネルギーを超えた動作においても、時間的に固定された位相から反射されたことにより、高いビーム忠実度が得られたと考えられる。また、反射位置の前方結晶内の温度分布により生じる波面収差は、位相共役鏡としての動作により自動的に補償されている。

LAP結晶への入射パワー1.5W動作時、SBS反射率を考慮すると、結晶内に吸収されるパワーは約0.1Wであり、計算で求めた臨界パワーの約1/3の動作条件である。遠視野像のスポット径より求めた結晶の熱拡散レンズ効果は、吸収パワー約0.1Wの時、焦点距離表現で約-70cmである。LAP結晶の熱破壊パワー限界は、位相共役鏡としての動作可能パワーの約4倍の0.4Wである。

測定したDLAP結晶は1.06 μ m波長での吸収係数は約2%/cmであり、入射パワー8W(吸収パワー80mW)まで照射した時、遠視野像のスポット径は初期値の約2倍の0.6mmとなった。式(2)からの評価によるとLAPに対して約8倍の12W入射まで利用可能である。

5. まとめ

有機LAP結晶は固体SBS媒質として種々の優れたSBS特性を有していることが分かった。この結晶は石英ガラスの約3倍の内部ダメージしきい値(1ns:80J/cm²)と液体媒質

と同様に高いSBS利得係数(約10cm/GW)を持つことから、取り扱いが容易な小型、高性能、高出力動作可能な位相共役鏡となる。レーザー光の吸収係数が大きいいため重水素化したDLAP結晶が実用上有利である。

高繰り返し動作時のYAG増幅器の波面補償実験において、LAP結晶SBS位相共役鏡は熱レンズ効果を完全に補正し、増幅器出力ビーム性能を2倍以上改善出来ることを立証した。

以上の研究結果は、低吸収、高SBS利得係数のDLAP結晶とLD励起固体レーザーを組み合わせることにより、小型、高品質、高出力固体レーザーの実現が可能であることを示している。

謝 辞

本研究にあたり、日頃からご指導いただく山中 龍彦教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) V. Wang and C. R. Giuliano: Opt. Lett. **2** (1978) 4.
- 2) A. Ashkin, G. D. Boyd, J. M. Dziedzic, R. G. Smith, A. A. Ballman, J. J. Levinstein, and K. Nassau: Appl. Phys. Lett. **9** (1966) 72.
- 3) B. Y. Zeldovich, V. I. Popovichev, V. V. Ragulskii and F. S. Faizullov: Sov. Phys.-JETP Lett. **15** (1972) 109.
- 4) B. Y. Zeldovich and V. V. Shunov: Sov. J. Quantum Electron. **8** (1978) 15.
- 5) D. A. Rockwell: IEEE Quantum Electron. **24** (1988) 1124.
- 6) 吉田 国雄, 吉田 英次: レーザー研究 **21** (1993) 832.
- 7) 吉田 英次, 吉田 国雄: 核融合研究 **68** (1992) 235.
- 8) I. D. Carr and D. C. Hanna: Opt. Commun. **62** (1987) 396.
- 9) C. B. Dane, L. E. Zapata, and L. A. Hackel: CLEO '93 Technical Digest CWII (1993) 274.
- 10) H. J. Eichler, A. Haase and R. Menzel: IEEE Quantum Electron **31** (1995) 1265.
- 11) A. Yariv: Phys. Lett. **28** (1976) 88.
- 12) 吉田 英次, 吉田 国雄: レーザー研究 **22** (1994) 689.
- 13) D. Heiman, D. S. Hamilton, and R. W. Hellwarth: Phys. Rev. **B19** (1979) 6583.
- 14) D. Xu, M. Jiang and Z. Tan: Acta Chemica Sinica **2** (1983) 230.
- 15) A. Yokotani, T. Sasaki, K. Yoshida, and S. Nakai: Appl. Phys. Lett. **55** (1989) 2693.
- 16) G. W. Fairs, L. E. Jusinski, and A. P. Hickman: J. Opt. Soc. Am. **B10** (1993) 587.
- 17) D. Eimerl, S. Velsko, L. Davis, F. Wang, G. Loiacono, and G. Kennedy: IEEE Quantum Electron **25** (1995) 1265.
- 18) W. Koechner: Solid-State Laser Engineering, 2nd ed. in Springer Series **1** (1988) 540.
- 19) H. J. Eicher, R. Menzel, R. Sander, M. Schulzke, and J. Schwartz: Opt. Commun. **121** (1995) 49.
- 20) E. P. Ippen and R. H. Stolen: Appl. Phys. Lett. **21** (1972) 539.
- 21) G. W. Fairs, L. E. Jusinski, and A. P. Hickman: J. Opt. Soc. Am. **B10** (1993) 587.
- 22) J. J. Ottusch and D. A. Rockwell: Opt. Lett. **16** (1991) 369.
- 23) 吉田 英次, 藤田 尚徳, 山中 龍彦, 吉田 国雄: 光学 **26** (1997) 31.
- 24) N. F. Andreev, E. Khazaniv, and G. A. Pasmanik: IEEE J. Quantum Electron. **QE-28** (1992) 330.