レーザーオリジナル

レーザー核融合用大型 KDP 単結晶の育成

横谷篤至*・小出 博*・山室幸三*・佐々木孝友*・山中龍彦*・山中千代衛*

(1983年1月7日 受理)

Growth of Large KDP Single Crystals for Laser Fusion

Atsushi YOKOTANI*, Hiroshi KOIDE*, Kozo YAMAMURO*,
Takatomo SASAKI*, Tatsuhiko YAMANAKA*, and Chiyoe YAMANAKA*

(Received January, 7, 1983)

Large single crystals of potassium dihydrogen phosphate (KDP) have been grown by temperature decrease method for the purpose of a frequency converter in laser fusion. The article describes how large and transparent KDP crystals (about $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 9\text{ cm}$) have been obtained and discusses how to grow much more large crystals.

1. はじめに

最近、大出力レーザーを用いた核融合実験が精力的に行われ、ターゲットへの吸収効率の良い短波長レーザーが強く要求されるようになった。しかし現段階では、大出力、短波長の新レーザーが完成していないため、非線形光学効果を用いて波長 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ の強力なガラスレーザーの2倍高調波 ($0.53\text{ }\mu\text{m}$)、3倍高調波 ($0.35\text{ }\mu\text{m}$) を得これによって高い効率でプラズマ爆縮を起こし、ブレークイーブンを実現しようという方向に指向している¹⁾。KDP 単結晶は非線形光学結晶として高い変換効率を持ち、かつ耐レーザー損傷も高いので、これまでに数多く研究が行われてきたが、その用途がレーザー核融合のように大規模なものではなかったため小型の結晶が中心であった。大出力レーザー核融合装置では、ビーム口径が $20\text{ cm} \sim 40\text{ cm}$ 程度になるので、非常に大型の KDP 単結晶が必要で

ある。結晶の大型化には工学的に種々の問題が生じ、それに伴うノウハウも必要である。筆者等は、高調波発生用大型 KDP 単結晶の製作技術を確立し、レーザー核融合用ドライバーに供することを目的としている。

2. レーザー核融合用大型 KDP 単結晶

大阪大学レーザー核融合研究センターにおいて昭和58年度完成予定の「激光Ⅻ号」ガラスレーザー12ビームシステムでは最終ビーム口径が 35 cm である。従って有効断面として最底 36 cm の結晶が必要となる。このような大口径を有する結晶を育成するには極めて長期間を要し、育成装置も巨大になる。高調波の発生方法には、入射光線に常光線のみを使用するタイプⅠと常光線、異常光線の両方を入射するタイプⅡの2種類がある。一般的にタイプⅡの方が位相整合角の幅が広く変換効率も高い。また同じ大きさの結晶からは、整合角の関係からタイプⅡの方が

* 大阪大学レーザー核融合研究センター (〒565 吹田市山田丘)

* Institute of Laser Engineering, Osaka University (Yamada-oka, Suita, Osaka 565)

大きな結晶板を切り出せる。3倍高調波($0.35\mu\text{m}$)を発生させるにはまず2倍高調波($0.53\mu\text{m}$)を作り、これと基本波を混合させる方法が用いられる。タイプⅡを用いた時には、2倍高調波発生用と3倍高調波発生用結晶の整合角が共にほぼ 60° であり殆んど同じ形のものが採用できる²⁾。このことからタイプⅡの結晶の育成をここでは考える。育成した結晶から2倍高調波発生用タイプⅡをカットする方法をFig. 1 に示す。

Fig. 1. Cutting angle of KDP crystal for the type Ⅱ conversion plate. 40cm×40cm of cross section is required to obtain a 36cm×36cm of conversion plate because of using good portion of quality in KDP crystals.

図は1 プール (1 成長面) について示したものである。種結晶はZカット板を用い、まずキャッピングを行い自然成長面であるピラミッド部を作る。この部分は通常白い“ス”が多く含まれており、高調波発生用には用いることができない。キャッピング終了後バークロウイングで透明部を成長させてゆく。36cm角の結晶板を切り出すには少なくとも40cm角の結晶が必要である。3倍高調波を得るためには1 ビームあたり波長変換用結晶板が2枚必要である。断面40cm級の結晶育成には1年以上の長期間が必要となるため、Fig. 2に示すような4枚の結晶を組合わせて使用する方法も考えられる。18cm角の結晶板を用いた場合「激光Ⅻ号」での2倍高調波発生のためにはタイプⅡ結晶板が48枚、3倍

Fig. 2. 2×2 KDP plates array. Each plate has a 18×18cm² of cross section.

高調波の場合は96枚必要である。結晶の成長率を1mm/dayと仮定すれば、必要な育成日数が見積れる。これをTable Iにまとめた。1プールのKDP結晶から取れる結晶板が2枚と4枚の場合について示している。36cm角の結晶板を得る場合を考える。1プールから2枚取る時には、360日で72cm軸方向へ育成させなければならない。12ビーム用には12枚必要だから全部で6プール育成する必要がある。18cm角の結晶板を用いる場合には育成は195日ですむ。その代わりに24プール育成しなければならない。高品質の大型結晶をどれだけ速く成長させるかが育成のポイントとなる。

3. KDP育成実験概要

Table IIに筆者等が現在使用している育成槽を示す。Small Double Vessel I, IIは溶液内の不純物の効果、温度降下率と成長速度の関係、溶液pHと成長速度の関係等の基礎データを得るためのものである。Single Vessel I, II, Large Double Vesselは内容量が80lで同一の大きさを持つ。育成可能な結晶は10cm×10cm×15cm, 2プールである。これらの装置を用い、20cm級結晶育成技術確立のための予備実験を行っている。この論文では育成時における母液pHの効果、不純物の影響等の基礎実験

Table I. Required time for KDP crystal growth assuming 1mm/day of growth rate of c-axis.

	Number of KDP plates from one Boule KDP crystal					
	4			2		
	Length	Boule	time	Length	Boule	time
36×36cm	80cm	4	400 days	72cm	6	360 days
18×18cm	43cm	12	215 days	39cm	24	195 days

Table II. Properties of crystallizer.

	Dimension of growth vessel	Solution capacity	Maximum dimension of growing crystals.
Large Double Vessel	D. 50 cm H. 60cm	80 l	10cm×10cm
Single Vessel I	D. 50cm H. 60cm	80 l	10cm×10cm
Single Vessel II	D. 50cm H. 60cm	80 l	10cm×10cm
Small Double Vessel I	18×18×20cm ³	6.6 l	3 cm×3 cm
Small Double Vessel II	D. 23cm H. 35cm	9.6 l	5 cm×5 cm

の結果と断面 5 cm 級の結晶育成に関して中心に報告する。

3.1 育成方法

KDP 結晶は水溶液から育成される。定温蒸発法、溶液循環法（温度一定法）、温度降下法が主な育成方法である。大型の KDP 単結晶育成の場合、定法蒸発法では育成槽が非常に大きくなり蒸発量のコントロールもむづかしい。また溶液循環法では原理的には濃度を一定に保つので理想的だが構造が複雑で雑晶が生じやすくなる欠点を持っている。温度降下法は溶液の溶解度曲線がわかっているれば温度を変化させることによって容易に成長をコントロールできるという長所を持っているうえ構造も単純である。このため温度降下法を用いることにした。育成槽内での温度分布をできるだけ一定に保つため結晶を回転させながら温度を下げっていく温度降下法（ホールデン法）³⁾を採用した。

3.2 育成槽

今回主に使用した Single Vessel の構成を Fig. 3 に示す。KDP 溶液は弱酸性のため金属は溶液中にとけ出すので長期間にわたる使用は不可能である。このため育成容器は内容量 80 l のステンレス製タンクの内部に樹脂コーティングしたものをを用いた。外側には断熱材を巻いてあり底部にはヒーターを接触させてある。結晶の支持、回転軸はアクリル材を用いている。溶液中に直接挿入されたサーミスターで温度をモニター、制御している。断面 5 cm 級の結晶育成には、純水 30 l を用いて飽和溶液を作り、Z カットした種結晶 2 個を c 軸が水平に成長するように配置し、両面 4 ブールの育成を行った。Fig. 4 に Large Double Vessel の構造を示す。温度特性を向上させるため外槽部に水の層を設けている。

3.3 温度制御装置

1. Electric drive 2. Crystal holder shaft 3. Thermister
4. Growing Crystal 5. KDP Solution 6. Heat Insulator
7. Heater 8. Supportor

Fig. 3. Schematic drawing of Single Vessel I.

1. Electric drive 2. Crystal holder shaft 3. Heater
4. Thermister 5. Growing crystal 6. Pump 7. Water
8. KDP solution 9. Heat insulator
I. Inner vessel (Crystallizer) II. Outer vessel

Fig. 4. Schematic drawing of Large Double Vessel.

ホールデン法では、成長速度の調整は温度降下率によって制御する。溶液温度は長期にわたる育成期間、育成温度範囲で、任意に設定された降下率に従って忠実に作動するものでなければならない。比例制御方式を採用し、温度設定は、ブリッジのポテンショメータで行い、これをパルスモータで回転させて設定温度を変化させる。温度降下率はパルス周波数によって設定できる。Fig. 5にその構成を示す。実際育成を行ったシステムでは設定温度範囲は25~100℃、温度降下率は0.05~1.5℃/dayの間で任意に指定できる。またヒーターは底部に配置してあるため雑晶が発生した場合、その急激な成長をさけることができる。Single Vesselの中央部における温度降下特性をFig. 6(a)に示す。リップルの範囲は0.01℃以下である。Double Vesselは、Single Vesselと同様

Fig. 5. Block diagram of temperature controller. Temperature falling rate is determined by pulse frequency.

Fig. 6. Temperature characteristics of (a) Single Vessel and (b) Large Double Vessel.

に制御された水槽中に育成槽を配置させてあり、溶液を直接加熱しないためリップルは少ない。Fig. 6(b)にその温度降下特性を示す。0.002℃以下の変動にとどまっております極めて良好な温度特性である。しかしこの程度の大きさの槽では、Single Vessel の温度特性で十分良好な結晶育成が可能であった。

3.4 結晶回転機構

育成槽内で溶液の濃度、温度の均一化をはかり、透明成長させるために槽内で結晶を回転させる。回転数は3～20r. p. m. の間で任意に設定できる。回転方向は一方回転と反転の指定ができ、反転の際は、2～180秒の回転時間と5秒、あるいは10秒の回転停止時間とを組み合わせるようになっている。ホールデン法ではこの反転動作を入れる事が“ス”の発生を防ぐため重要なポイントである⁴⁾。また、回転の開始時と停止時には、急激な運動をさけ、スムーズな加速、減速を行う制御機構を持っている。回転機構の構成をFig. 7に示す。筆者等の実験では結晶成長面付近の流速が15cm/sec程度を超えると“ス”の発生は問題にならないことがわかった。5cm級結晶育成では18r. p. m. で1分間回転させ、10秒の回転停止時間をはさんで反転させた。

3.5 母液の準備

用いたKDP原料は市販のリン酸第1カリウム試薬特級である。後述のように原料中の不純物、特に鉄、クロム、アルミの混入は結晶性癖に著しく影響するので、できるだけ少ない方が

Fig. 7. Block diagram of electric drive.

望ましい。JIS規格では鉄の許容混入量は20ppm以下になっているが、実際筆者等が原子吸光法で調べた結果では製作ロットごとにはばらつきはあるが、1ppm以下であった。クロム、アルミは鉄より若干少なかった。この程度の不純物混入レベルでは殆んど性癖に影響がないことが育成の結果判明した。

溶媒には、イオン交換装置を通した水をさらに石英蒸留装置により蒸留したものを用いた。最近市販されている超濾過装置のついた電気伝導度18MΩの達成できる超純水装置を用いた場合も良好な結果が得られた。

KDPを溶かした溶液は一担飽和点より約10℃上に保ち十分溶解させた後5μmのミリポアフィルターを用い濾過を行った。

飽和点の決定には1mm角程度のKDP小結晶を用いた。10分程度溶液に入れたあと顕微鏡で観察し、成長しているか溶解しているかを決めた。約0.2℃の範囲内で飽和点の決定ができた。

4. 育成結果

4.1 基礎実験

4.1.1 pHとa, c軸の成長率の関係

通常pH調整の行っていないKDPの飽和水溶液は、約4.1のpHを示す。この状態では準安定領域の幅がせまいため雑晶が発生しやすい。pHを5.5～6.0くらいに調整すれば準安定領域が広がることが知られている⁵⁾。しかし育成の晶癖が変わりc軸の成長と共にa, b軸の成長が速くなり、結晶としてずんぐりした形になる傾向がある。育成した結晶から、結晶のa, b, c軸の成長率とpHの関係を観察した。結果をFig. 8に示す。Fig. 8では結晶のa軸とc軸の成長率がプロットされており、pH4ではc軸を1mm/day程度で成長させても結晶断面の変化はわずかである。一方pH5ではc軸の成長とともに断面方向にも大きく成長する。用いる種結晶の良否、種結晶に対するホールド時の歪みの入り方、母液中のFe³⁺、Cr³⁺、Al³⁺イオンの不純物量等により同一pHにおいてもa軸の成長率は大きく変わるのでこの曲線はpH

の変化に対して大体のa軸の成長の目安を与えるものである。たとえばpH 4の溶液で極めて良好な種結晶を用い、ホールドをうまくしてやればc軸の成長率1.0mm/day位にしてもa軸はほとんどのびないという結果が得られた。(a軸のび0.001mm/day以下)逆に種結晶中にクラックや転位の多い場合、またホールド時に不均一な力学的歪が入っている場合には、a軸ののびは曲線よりも大きな値となった。

またa軸の成長につれ側面(プリズム面)に“ス”が生じたり、クラックが入る可能性が極めて高くなることが常時観察された。従ってバークローイングにおいて良好な結晶育成を行うにはa軸の成長を極力おさえc軸のみを成長させる事が重要であることが今った。これ故に育成条件として母液のpHは4(pH無調整)を採用した。なお成長率1mm/day位では雑晶の発生の問題は生じなかった。

Fig. 8. Effect of pH on the growth rate along the a and c-axis of KDP crystals.

4.1.2 温度降下率と結晶成長速度

ホールデン法では結晶成長速度は温度降下によって制御される。溶解度は温度の関数である。いま、温度降下によって、溶解度を時間とともに直線的に降下させたとする。そのときの溶解度の変化を C^*

$$C^* = -at + b \quad (1)$$

とする。ここで a, b は定数、 t は時間である。時刻 t における溶液中の濃度(100gH₂Oあたり)を C とすると、過飽和度 ΔC は、

$$\Delta C = C - C^* \quad (2)$$

で表わされる。pH 4の場合、成長面の総面積は一定と仮定する。これは今、 a, b 軸の成長を無視できるので問題はない。H₂O 100g単位に換算した面積を A 、成長率を R とすれば、単位時間あたりに析出するKDPの量は、 ρAR で示される。 ρ はKDPの密度である。また成長率と過飽和度との間には $R = k(\Delta C)^p$ という関係があるので

$$\frac{dC}{dt} = -\rho AR = -\rho kA(\Delta C)^p \quad (3)$$

となる。これに(1), (2)式を代入して変形すると、

$$\frac{d(\Delta C)}{dt} + \rho kA(\Delta C)^p = a \quad (4)$$

又は

$$\frac{1}{Pk^{\frac{1}{p}}} R^{\frac{1-p}{p}} \frac{dR}{dt} + \rho AR = a \quad (5)$$

となる。従来の報告では $P = 1 \sim 2$ と考えられている⁶⁾。 $P = 2$ のときの成長率は

$$R = \frac{a}{\rho A} \left(\frac{1 + C_1 e^{-\gamma t}}{1 - C_1 e^{-\gamma t}} \right)^2$$

となる。ただし $\gamma = 2\sqrt{\rho akA}$ 、 C_1 は初期定数である。 t と R の関係をFig. 9に示す。温度降下率を、 $t = 0$ である値から他の値へ変化させた場合、一定であった成長率は過渡状態の後

また一定の成長率 $a/\rho A$ になる。これは定常状態では、温度降下のみによって制御できることを意味する。Fig. 10 に育成中に温度降下率を変えた時の成長率を示した。白丸は実測値、実線は上述の定常時における理論値である。結晶の成長率は、1 日程度で定常状態になっていることが観察された。これにより温度降下法で成長率の制御が十分できることがわかった。

Fig. 9. Growth rate (R) vs. time. At $t=0$, temperature falling rate was changed. Growth rate settles down to another growth rate after some transitional stage.

Fig. 10. Length along the c -axis of a growing crystal versus growth time. At 4th day temperature falling rate was changed from 0.32 to 0.54 $^{\circ}\text{C}/\text{day}$. Growth rate is well fitted to theoretical line after 5th day.

4.1.3 不純物の効果

大型 KDP 結晶育成には数ヶ月以上の長期間を必要とする。育成期間を短くするには成長速度を速くしなければならないが、あまり速い成長率 (1.0 mm/day 以上) では前述のように a , b 軸の成長のため“ス”やクラックが生じる。母液に鉄、クロム等の 3 価の不純物イオンを入れた時、イオンは結晶のプリズム面に吸着し、 a , b 方向の成長率がおさえられ結晶にテーパーがつく^{7,8)}。そこで鉄、クロムなどの不純物を加えることにより、結晶に“ス”，クラックを発生させずに速く成長させることを試みた。

Fig. 11 はテーパー角と不純物量の関係を筆者が測定したものである。 Cr^{3+} イオンの方が少量でテーパーを引き起こす。テーパー角は結晶の成長速度 (過飽和度) によっても影響をうけ、成長率が大きい時ほどテーパーの効果は小さくなる。図はほぼ $1 \sim 3\text{ mm/day}$ の c 軸成長率に対してプロットしたものである。

次に $2 \times 10^{-3}\text{ g/l}$ の Fe^{3+} を不純物として断面 3 cm 角の結晶を育成した。Fig. 12 に育成完 3 時の結晶を示す。キャッピング及び初期のバグローイングは成長率 1 mm/day であるが、その後成長率を 1.5 mm/day に引き上げ、最終的には 3 mm/day で成長させたものである。Fig. 13 に結晶引き上げ前の約 12 日間における c 軸の成長の様子 (Fig. 12 における左半分のブールに対する測定) を示した。このような速

Fig. 11. Effect of impurity added into the mother liquor on the taper angle of KDP crystals.

Fig. 12. 3 cm×3 cm KDP crystal grown in the mother liquor with impurity (Fe^{3+} 2×10^{-3} g/l).

Fig. 13. Growth record of the KDP crystal mentioned in Fig. 12. Growth rate was increased from 1.5 mm/day to 3 mm/day.

い成長率でも結晶に“ス”やクラックなしで透明な結晶が育成できた。不純物が結晶内部にどの程度取り込まれ、変換効率、レーザー損傷閾値に影響を与えるか問題があるが、2～3 mm/dayの成長速度は大型KDP育成のための時間短縮ということに対し極めて魅力的なものである。

4.2 5 cm 級 KDP 単結晶の育成

Single Vessel IIを用いた5 cm 級結晶育成の結果について述べる。前述のように断面方向の成長は好ましくないので母液は pH 調整を行わず (pH 4.1) c 軸成長率は 1 mm/day までとして育成した。種結晶として断面がほぼ 5 cm×5 cm、厚み 1.2 cm の Z カット KDP 板を 2 枚用意した。キャッピング完了には約 20 日間かけた。キャッピングのみを完了させるにはもっと速く、たとえば 10 日以内でも完成できるが、早く完了した結晶は歪みを多く有しており、バグローイング時にこの歪みがクラックを生じ透

Fig. 14. (right) 5 cm×5 cm KDP single crystals. Total length are 206 mm and 215 mm, respectively. (left) 3 cm×3 cm KDP crystal for comparison.

明部に進展してくる。結晶の歪みを持つ程度はキャッピング速度のみならず用いた種結晶の良否にも大きく影響される。種結晶が致命的なクラックを持っている時は極めてゆっくりバグローイングをさせてもクラックを生じてしまう事が多い。逆に良好な種結晶では速いキャッピング速度でもクラックは生じない。種子結晶を良好にするには何度かバグローイングを繰り返し、徐々に良くしていくよりほかに方法はない。

Fig. 14は得られた結晶の写真を示す。キャッピング完了後約一週間ごとに成長経過を追跡した様子を Fig. 15に、またクラックの入った結晶の写真を Fig. 16に示す。断面方向に殆んど成長が見られない。それぞれのブルについて c 軸の長さや温度降下の関係をプロットしたものが Fig. 17である。曲線中のパラメータは一番長いブルについての成長率を示している。また温度曲線については温度降下率をパラメータとして示してある。育成当初は 1 mm/day の成長率をねらって 0.12°C/day の温度降下率を保っていた。結晶は予定通り 4 ブール共 1 mm/day 前後の成長速度で成長した。キャッピング完了後から 43 日目に 1 つのブルのピラミッド部の一角に小さなクラックが発生し、そのブルのみ成長速度が極端に速くなった。これはクラックを治すべく母液からの栄養がどんどんクラック部に行くため、このようになるとそのブルのみ成長が速くしかもクラックはますます

(a)

(b)

Fig. 15. Schematic drawing of growth fronts of KDP crystals (a) without crack (b) with one crack. Growth rate suddenly increased after cracking.

Fig. 16. Picture of KDP crystal with crack. Arrow shows crack.

す進展する結果になる。他方健全な残り 3 ブールには栄養が行かず成長速度は落ちる。これをさけるため温度降下率を $0.051^{\circ}\text{C}/\text{day}$ に下げた。その後しばらくはクラックの入った結晶は速い成長速度で成長していたが、72日目位にその影響はなくなり 4 ブール共ほぼ同じ成長率になったと思われるので、再び温度降下率を $0.11^{\circ}\text{C}/\text{day}$ と速めた。以上の経過を経て透

Fig. 17. Growth record of $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ KDP crystals.

明部が 6 cm を超えた 98 日目に育成を止め、結晶をとり出した。得られた結晶の全長は 206 mm と 215 mm (クラックの生じた方)、1 つのブル当りの平均成長速度は $0.85\text{ mm}/\text{day}$ であった。クラックの発生がなければ $1\text{ mm}/\text{day}$ の成長率を実現できたものと思われる。

4.3 20cm級種結晶の育成

大型結晶を得るためには、大きな種結晶を必要とする。c 軸のみならず断面方向も同時に成長させれば必ずクラックやスが入る。このため筆者等はまずクラックやスが入っていても問題にせず、横方向のみを速く成長させ所定の断面の種結晶に仕上げ、これを今度は横方向を成長させず、バグローイングのみで透明成長させるという 2 段階法を取ることにした。横方向のみを成長させる方法として板状結晶育成法が以前に提案されている⁹⁾。これは Z カットした KDP を 2 枚の板ではさみこみ、c 軸をのばさず、a, b 軸のみ自由に成長させる方法である。この方法を採用し、a, b 軸をできるだけ早く成長させることを試みた。用いた種結晶の断面は約 $13\text{ cm} \times 13\text{ cm}$ である。この結晶より c 軸長 9 cm の Z カット KDP 柱を切り出し、Single Vessel I を用いて育成をさせた。槽の内径が 50 cm しかなく、種結晶が大きいため Fig 3 のように中央回転軸に対し、枝状にとりつけられないため、同軸にとりつけた。Fig. 18 は a, b 軸方向の成長をプロットしたものである。a, b

軸成長率が片側で 0.5mm/day を持つ程度で温度降下させた。温度降下率がどこまで速できるかは雑晶が生じるかどうかで決定される。つまり母液の過飽和度がどこまで大きく取れるかによって決まる。この実験では pH を 5.2 に調整しているが、これは a, b 軸を成長させやすくしていると同時に、過飽和度の範囲を広くしていることにもなっている⁵⁾。雑晶が一担生じ始めると過飽和度が高いためたちまち成長してしまい、種結晶の a, b 軸の成長率は急激に落ちる。実験結果では Fig. 18 のように 2 度の雑晶抜きを行った。a, b 軸は平均片面で 0.35mm/day

Fig. 18. Growth record of $19\text{cm} \times 19\text{cm}$ seed crystal. At starting point, cross section $13\text{cm} \times 13\text{cm}$. Arrows show removing of spurious nucleations in mother liquor.

Fig. 19. Picture of $19\text{cm} \times 19\text{cm}$ seed crystal.

であった。最終的に約 $19\text{cm} \times 19\text{cm} \times 9\text{cm}$ の角柱にまで成長している。これを Fig. 19 に示す。種子結晶育成には、いかに溶液の過飽和度を高く保つかがポイントであり、現在最適条件を検討している。

5. あとがき

良質の KDP 結晶を成長させるには、横方向の成長は好ましくない。このため KDP 単結晶の大型化には、種結晶の育成と、バーグローイングによる透明成長とを併行して行う必要がある。種結晶としては現在 19cm 角程度のものが得られているので、これをさらに $20 \sim 25\text{cm}$ 角にまで育成し、これを種結晶とし、バーグローイングによる透明成長を行う予定である。ホールデン法では、槽が極めて大型になる、大型結晶を回転させなければならないため種子結晶ホルド法が難しくなる等、いくつかの問題点があるので、新しい育成法として、電気透析法、溶液攪判法等の基礎実験も行なっており、これらのデータも考慮して $20 \sim 25\text{cm}$ 級育成槽の設計をすすめている。また、得られた結晶についての評価、切断、研磨法等についても研究中である。

参 考 文 献

- 1) Annual Repts. on Laser Fusion Program, ILE, Osaka Univ. (1982) ILE-APR-81.
- 2) W. Seka et al; Opt. Commun. **34** (1980) 469.
- 3) A. N. Holden; Disc. Faraday Soc. **5** (1949) 319.
- 4) R. J. Rosmalen et al; Kristall und Technik, **13**(1978) 17.
- 5) 結晶工学ハンドブック, (共立出版, 結晶工学ハンドブック編集委員会編, 1972) 819.
- 6) J. Garside: 1976 Crystal Growth and Materials, Chapter II, edited by E. Kaldis and H. J. Scheel, (North-holland Pub. Com., 1977)
- 7) H. Jaffe and B. R. E. Kjellgren: Disc. Faraday Soc. **5** (1949) 319.
- 8) C. Belout: J. Crystal Growth **44**(1978) 315.
- 9) 筒井, 伏見, 小川: 応用物理, **27** (1958) 663.