

JAERI-Research

96-050



非線形光学結晶による銅蒸気レーザーの和周波
及び第2高調波発生

1996年10月

杉山 僚・大関 章・加藤政明・丸山庸一郎

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1996

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

非線形光学結晶による銅蒸気レーザーの和周波及び第2高調波発生

日本原子力研究所東海研究所燃料研究部

杉山 僚・大図 章・加藤 政明

丸山庸一郎

(1996年9月4日受理)

非線形光学結晶KDP及びBBOを用いて銅蒸気レーザー(CVL)光の和周波及び第2高調波の発生実験を行った。基本波を集光することによって得られる変換光のビームパターンは、円形とならず縞状になった。これは、結晶の位相整合許容角に制限される結果であり、位相整合許容角はKDP結晶において $1.58\text{mrad}\cdot\text{cm}$ と見積もられる。変換効率は、結晶の有効作用長と基本波の集光状態に依存し、焦点距離 555mm の集光レンズを使用することによって最も高い値を得た。和周波混合では、波長 510nm 及び 578nm の基本波パルスの発振タイミングのずれにより変換光の発生する部分が制限されると共に、変換光は 578nm の光パルス波形に依存することがわかった。

また、ビーム拡がり角の小さなインジェクションロッキングCVLシステムを第2高調波の発生に初めて用いた結果、 $75\text{MW}/\text{cm}^2$ の入射光強度で最高 11.2% の変換効率を得た。更に入射光強度を増加させたところ、 $100\text{MW}/\text{cm}^2$ 以上の強度でBBO結晶は破壊した。

Sum Frequency and Second Harmonics Generation of
Copper Vapor Laser by Nonlinear Crystals

Akira SUGIYAMA, Akira OHZU, Masaaki KATO and Yoichiro MARUYAMA

Department of Chemistry and Fuel Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 4, 1996)

We have demonstrated sum frequency and second harmonic generation using green (510 nm) and yellow (578 nm) laser light of copper vapor lasers (CVL) by nonlinear crystals of KDP and BBO. The beam patterns of the converted UV laser light become stripe due to the restriction of the acceptance angle of KDP crystal which is estimated to be 1.58 mrad. • cm. Conversion efficiency depends on effective crystal length and focusing condition of fundamental laser beam, and is maximized by a convex lens with the focal length of 555 nm. In sum frequency generation, the temporal delay and the pulse shape of 578 nm laser pulse limit the conversion efficiency.

In first second harmonic generation using injection locking CVL oscillator system which can produce low beam divergence fundamental laser beam, the maximum conversion efficiency is 11.2% at the incident power of 75 MW/cm². The BBO crystal is damaged by the higher incident laser power of over 100 MW/cm².

Keywords: Copper Vapor Laser, Nonlinear Crystal, Sum Frequency, Second Harmonic, Wavelength Conversion, KDP, BBO

目 次

1. はじめに	1
2. 和周波混合発生	2
2.1 実 験	2
2.2 実験結果及び考察	3
3. 第2高調波発生	7
3.1 実 験	7
3.2 実験結果及び考察	7
4. 結 論	9
参考文献	10

Contents

1. Introduction	1
2. Sum Frequency Generation	2
2.1 Experiment	2
2.2 Results and Discussion	3
3. Second Harmonic Generation	7
3.1 Experiment	7
3.2 Results and Discussion	7
4. Conclusion	9
References	10

1. はじめに

紫外領域レーザー光を発振させる光源として、エキシマーレーザー、Nd:YAGレーザーの第3高調波(353nm)、第4高調波(266nm)、第5高調波(213nm)などが挙げられる。これらレーザーは、高いパルスエネルギーのレーザー光を発生させることが可能であり、現在、光化学反応、半導体製造過程におけるリソグラフィ等の研究用光源に用いられている。しかし、発振繰り返し数が、1~500Hz程度である。これに対して、銅蒸気レーザー(Copper Vapor Laser)は、2本の可視域スペクトルの光をkHzオーダーの高い繰り返し数で同軸上に発振させることが可能なレーザーである¹⁾。これらのレーザー光を非線形光学結晶を用いて波長変換することにより高い繰り返し数で、255、271、及び289nmの紫外光を発生させることができる。

このような低エネルギー、高発振繰り返し数レーザー光の波長変換を行う場合には大別して2つの問題点がある。第1は、波長変換に使用する結晶自体の問題であり、(1)非線形光学定数が大きい事、(2)破壊強度が高い事、(3)位相整合許容温度幅が広い事、(4)紫外光領域における透過率が高い事、等が要求される。特に、高繰り返しレーザーを基本波に用いる場合、結晶内部での熱の発生によって屈折率が変化し、変換効率に大きく影響するので、(3)の位相整合許容温度幅が広い事が要求される。第2は、結晶へ入射させる基本波のパルスエネルギーに関する問題である。CVLは、ビーム径が大きく、かつ1パルス当たりのエネルギーが低いので、非線形効果を誘発させるためには、集光レンズにより単位面積当たりの入射光強度を増加させる必要がある。そこで、CVL発振器1台を用いた実験に加え、2台のCVLによる多段増幅(MOPA: Master Oscillator Power Amplifier)システムを使ってCVLの集光状態と位相整合角度の関係及び、基本波の集光状態が変換光出力並びに変換効率に与える影響を明らかにした。更に、CVLのビーム拡がり角を低減するために、注入同期発振(ILO: Injection Locking Oscillator)システムを用いて、今回初めて第2高調波の発生を行ったので報告する。

2. 和周波混合発生

銅蒸気レーザーは2つの波長のレーザー光を同時に発生させることができる。現在は、色素レーザーの励起光源として用いられている。このレーザーの発振スペクトル出力比は、510nm : 578nm = 2 : 1 ~ 1 : 1であり、このうち510nmのレーザーが励起光源に使用されている。そこで、2本の発振スペクトルが同軸上であることを利用して、これらのスペクトルによる和周波混合の発生を行う。

2.1 実験

Fig. 1 に、実験構成図を示す。基本波の光源として、発振繰返し数6kHz、平均出力10W、プラズマチューブ径25mmのCVLを使用している。結晶の非線形効果を誘発させる為には、1パルス当たりのエネルギーが低いCVLのビームをスポット状に集光する必要がある。この為に、共振器は拡大率10倍のP-ブランチ不安定共振器を使用する。この時のレーザー光のビーム広がり角は全角で0.6mrad.である。このレーザー光を、ビームスプリッター、ダイクロイックミラー、集光レンズ等を介して結晶に導く。結晶には、大きさ10×10×10mm、カッティング角度62度のKDPを用いている。この結晶を室温にて使用し、タイプIの角度位相整合で和周波混合波を発生させる。同一方向に伝播する基本波とこの変換光は、後方のプリズムで分散させ、パワーメーター (Scientech 36-0001) で出力を測定する。変換効率、この出力と結晶に入射された基本波の入射光強度の比から求める。図中 2つのアパーチャーは、CVLのビームに含まれる超ふる射 (ASE : Amplified Spontaneous Emission) を除去する為に配置している。変換光出力の集光状態に対する依存性は、 $f = 338 \sim 4150$ mmの焦点距離の異なる数種類の集光レンズを用いて測定する。

基本波と変換光のパルス幅及びパルスタイミングは、両方の光をプリズム前方のミラーを介して分光器に入射し、バイプラナー光電管 (浜松フォトニクス R1193) 及びデジタル

オシロスコープにて測定する。この時のトリガー信号には、CVL共振器からのもれ光をピンフォトダイオードで測光して得られた信号を用いる。510nm及び578nmの基本波の出力比についても同様に、結晶表面からの反射光を利用して測定し、オシロスコープ上の各々パルス波形の面積比から求める。

2.2 実験結果及び考察

今回の実験では、集光状態及び入力光パルスの相互作用について重点的に測定した。このため、変換光出力及び変換効率はさほど高くない。

低パルスエネルギーのレーザー光を波長変換させる場合には、レンズによって集光し、単位面積当たりのレーザー光強度を高めることで、非線形効果を誘発させる必要がある。とりわけ位相整合を角度整合で行なう場合には集光状態によって非線形効果作用体積が限定される為、結晶の相互作用長を見積もることが重要である。

Fig. 2 に、結晶を回転ステージに載せて回転させ、基本波の入射角度を変化させた場合の変換効率を示す。各曲線の半値全幅 (FWHM) は、位相整合許容角度幅を意味する。角度位相整合曲線に現れる非対称性は、KDP結晶内を伝播する変換光吸収によって生じるセルフヒーティングに起因する²⁾。また、集光レンズの焦点距離が短くなるにつれて位相整合許容角度幅が広がる傾向にある。この様子をFig.3に示す。和周波混合波発生の位相整合における波数ベクトルの差 Δk は³⁾⁻⁶⁾、

$$\Delta k = \left| k_{\omega_3} - (k_{\omega_1} + k_{\omega_2}) \right| \quad \dots (1)$$

で与えられる。ここで、 ω_1 及び ω_2 は入射光の ω_3 は変換光の角周波数を示す。式(1)

を用いると、ミスマッチ角度による波数ベクトルの差は、

$$\Delta k(\theta_m + \delta\theta) - \Delta k(\theta_m) = \left. \frac{\delta\Delta k}{\delta\theta} \right|_{\theta_m} \cdot \delta\theta \quad \dots (2)$$

となる。式 (2) の右辺を展開すると、入射光が平行光束であると仮定した場合の一軸性結晶のタイプI位相整合許容角は、

$$L \cdot \Delta\theta = \frac{\lambda_{\omega_3}}{n_{e\omega_3} \cdot (\theta_m)^3 \cdot \left| \frac{1}{n_{e\omega_3}^2} - \frac{1}{n_{o\omega_3}^2} \right| \cdot \sin(2\theta_m)} \quad (\text{rad} \cdot \text{cm}) \quad \dots (3)$$

で表される。ここで、 λ は波長、 n_e 、 n_o は異常光線及び常光線屈折率を各々示す。式(3)から、KDPの位相許容角は1.58mrad \cdot cm (0.09deg \cdot cm) となり、Fig. 3に波線で示す。これに対して入射光をレンズで集光した場合には、入射光は平行光束とならず異なった角度分布をもつ光束が結晶内を伝播する。この結果、各々の角度成分の光束に対して位相整合許容角度が存在するため、複合したプロファイルとなり、位相許容角が相対的に広がるものと考えられる。

Fig. 4は、発生した変換光のパターンをスケッチしたものである。丸い輪郭で示された基本波のビームパターンが円形であるにも拘らず、レンズで集光した変換光のパターンは縞状になる。短焦点レンズを用いると、このパターンは、変換光によるセルフヒーティングで細い干涉縞の左側に尾を引いたような形になる。次第に焦点距離を長くするとセルフヒーティングによる影響が低下し、パターン中央の縞は鮮明になり、またその幅 d は広がる傾向を示す。干涉縞が現れる原因としては、 $\Delta k = 0$ を中心とした周期的な非線形現象(周期的な結晶構造による回折効果)が、角度分布をもつ入射光束によって発現した結果である⁷⁾。パターンの外側に向かうに従って、変換光の干涉幅が狭くなると共に出力も減少する。変換光出力のほとんどの成分は、パターン中央の幅 d に集中している。結晶が置かれた位置とパターン計測位置との距離及び幅 d から得られる拡がり角をTable. 1に示す。更にこの値と式 (3) から得られる結晶の有効作用長についても合わせて記す。入射光強度がガウシアン分布である場合、伝播方向 (z) に進む基本波のプロファイルは、次のように示される。

$$w^2(z) = w_0^2 \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{\lambda \cdot z}{\pi \cdot w_0^2} \right)^2 \right\} \quad \dots (4)$$

ここで、 w_0 はビームウエスト半径、 λ は波長である。レンズに入射する基本波のビーム半径を a 、レンズの焦点距離を f とすると、レンズによって集光されるガウシアンビームの収束角は、

$$\theta_B \cong \frac{a}{f} = \frac{\lambda}{\pi \cdot w_0} \quad \dots (5)$$

となる。理論的な有効作用長 L_{eff} は、複屈折角 ρ を用いて、

$$L_{eff} = \frac{\sqrt{\pi} \cdot w_0}{\rho} \quad \dots (6)$$

で与えられる⁴⁾。KDPによる和周波混合の場合、 $\rho=17.8\text{mrad}$ であることから $L_{eff} \cong 100w_0$ 程度と見積もれる。Table. 1に示すように、(5)及び(6)式から得られる有効作用長は、実験値とほぼ一致することがわかる。

Fig. 5は、焦点距離の異なる単レンズを用いて基本波を集光した場合に得られる変換効率を示したものである。焦点距離が短くなるにつれて、基本波の集光強度が大きくなる反面、結晶の有効作用長が短くなり変換効率が低下する。一方、長焦点の単レンズを集光に用いると、有効結晶長は長くなるものの入射光強度が低くなるため変換効率が低下する。この測定結果から、基本波の入射光強度及び有効結晶長を考慮した最適な焦点距離が存在することが予想される。Shenによると和周波混合における和周波混合出力は、

$$I_{SUM} = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{2 \cdot \omega_3 \cdot d_{eff}^2 \cdot L_{eff}^2}{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot c^3 \cdot \epsilon_0} \cdot \text{sinc}^2\left(\frac{\Delta k L_{eff}}{2}\right) \quad \dots (7)$$

で与えられる⁴⁾⁻⁶⁾。ここで、 I 強度、 ω_3 変換光角周波数、 d_{eff} 非線形定数、 c 光速、 ϵ_0 誘電率、 n 屈折率及び添字1、2は基本波、3は変換光を各々示す。式(7)から変換光出力は、有効結晶長の2乗及び基本波の入射光強度の積に比例する。今回の実験では、波長

511nm及び578nm用のアクロマートレンズを用いて集光していない。このため、集光用単レンズの色収差が焦点部で現れる。色収差による基本波入射光強度の変化を考慮すると、式(7)で表される変換効率は、

$$\eta \propto \frac{L_{eff}^2}{f_1 \cdot f_2} \dots (8)$$

の傾向を示すと考えられる。ここで、 f_1 、 f_2 は2本の基本波波長に対するレンズ焦点距離である。Fig. 5に、式(8)から得られる比例係数を規格化した値を破線で示したように、変換効率は焦点距離=555mmで極大値をとることがわかる。

CVLを基本波光源に用いた和周波混合の発生では、結晶に入射させる2つの基本波パルスの発振タイミングのずれが変換効率に影響を与える。Fig. 6に、基本波及び焦点距離=555mmのレンズを使用した場合の変換光の各パルス波形を示す。CVLでは、510nmのパルスが578nmに比べて早く発振する。従って、斜線で示す510nmのレーザー光の一部は、波長変換に寄与しない。2つの基本波に対して、変換光パルスの発生が遅れるのは、578nmパルスのレーザー出力が低く、非線形効果を誘発させるに至らないためであると思われる。このパルス面積から算出すると、和周波発生のしきい値は578nmのSHG(第2高調波発生)における発生しきい値の約半分に相当し、30 MW/cm²と見積ることができる。基本波のパルス波形が重なっている部分では、578nmのパルス波形が510nmのパルス波形を包含しているため、得られる変換光パルス波形もこれら基本波の波形に近似した形となり、変換光のピーク位置は、578nmのピーク位置にほぼ一致する。共振器長に相当した時間で発生する基本波パルス波形のリングングのリップルは、小口径のCVLよりも大口径のCVLにおいて小さくなることから、和周波混合には今回使用した口径25mmのCVLよりも口径40mmのCVLが適していると思われる。

3. 第2高調波発生

第2高調波はCVLで発生する510nmのレーザー光を基本波とし、その紫外光発生を行う。

3.1 実験

実験装置の基本的な構成は、Fig. 1と同様である。第2高調波発生の実験では、基本波の集光状態と変換光の関係を更に詳しく解明するために、プラズマチューブ径40mmの2台のCVLから構成されるMOPA (Master Oscillator Power Amplifier) 及びILO (Injection Locking Oscillator) システムを光源に用いる。MOPAシステムで発生するレーザー光のビーム広がり角及び出力は、各々0.8mrad、40Wである。一方、ILOシステムで発生するレーザー光の偏光度及びビーム広がり角は、各々225:1、0.2mradである。これらシステムで発生するレーザー光の内510nmのレーザー光をダイクロイックミラー及びレンズを用いて、大きさ10mm x 10mm x 5mm、カットング角度51度のBBO結晶に入射し、第2高調波を発生させる。

3.2 実験結果及び考察

Fig. 7にMOPAシステムによる変換光出力の依存性を示す。約60MW/cm²の入力に対して530mWの変換光出力が得られる。変換効率としては1.5%程度と低い。これは、MOPAシステムで発生する基本波のビーム広がり角が、0.8mrad.と大きいことから、基本波がレンズによって十分集光できず、結晶への入射強度が低いためである。

Fig. 8に、入力光強度30MW/cm²でのスポットサイズと変換効率の関係を示した。200μm以下の領域で飛躍的に変換効率が上昇し、それ以上の領域では変換効率が1%程度に低くなっている。BBO結晶はKDPに比べて複屈折角が大きく、510nmの第2高調波発生では85mrad.になる。そこで、複屈折によるウォークオフ効果と集光状態の相互作用について、和周波混合の変換出力を表す式(7)にBoyd-Kleinmanらの計算結果⁸⁾から

複屈折パラメータ $B=8$ のBBOについて減衰係数を求めて、これをスポットサイズ $60\mu\text{m}$ の変換効率5%に規格化した結果を破線で示す。変換効率の減少傾向が比較的良く一致していることがわかる。

このようにスポットサイズを小さくし、入射強度を高くすることで変換効率が改善されることから、よりビーム拡がり角の小さなレーザー光を発生できるILOシステムを用いて測定を行った。このシステムで発生するビーム広がり角は全角で 0.2mrad であり、回折限界値の約4倍である。更に、主発振器内の偏光ビームスプリッターにより、偏光度も1.4:1から225:1へと大きく改善されている。Fig. 9にILOシステムを用いた波長変換の実験結果を示す。図から、 $60\text{MW}/\text{cm}^2$ において変換効率10%が得られ、MOPAシステムの場合に比較して約7倍向上している。変換効率は $30\text{MW}/\text{cm}^2$ 附近から飽和する傾向を示す。これは集光ビーム及び変換光が結晶に吸収されることにより結晶内部での温度が上昇したためであると思われる。今回は結晶を室温で使用し、特別な温度調整は行っていない。結晶内部の温度上昇は、位相整合条件を乱す為、変換効率が低下する。更に入力光強度を高めて測定した結果、約 $100\text{MW}/\text{cm}^2$ で結晶表面にピン状のスポットが観測され、 $200\text{MW}/\text{cm}^2$ で結晶が破壊した。結晶の破壊しきい値は、入射レーザー光の波長及びパルス幅に依存し、入射光による結晶表面の照射温度は次式で与えられる^{9),10)}。

$$T_p = \frac{2 \cdot I_0}{(\pi \cdot K \cdot \omega_0^2)} \cdot \sqrt{\frac{\kappa \cdot \tau}{\pi}} \cdot (1 - \exp(-\alpha d)) \quad \dots (9)$$

ここで、 K 熱伝導度、 κ 熱拡散率、 τ パルス幅、 I_0 集光強度、 α 吸収係数、 d 吸収長である。BBO固有の物性値として $k=8 \times 10^{-4}\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ 、 $\kappa=1.1 \times 10^{-4}\text{cm}^2/\text{sec}$ 、更に、吸収長を集光スポット径程度とすると、 $100\text{MW}/\text{cm}^2$ の入射光強度で照射温度 T_p は 1783K に達する。BBO結晶の融点は約 1200K であることから、集光による T_p で結晶表面の蒸発が起これり破壊に至ったと考えられる。

4. 結 論

CVL光を基本波として利用し、KDPによる和周波混合をタイプIの角度位相整合で行ない、271nmの紫外光を発生させた。基本波を集光することによって得られる変換光のパターンは、円形とならず縞状になった。これは結晶の位相整合許容角に制限されるためであり、この結果からKDP結晶の位相整合許容角は1.58mrad.cmと見積ることができた。変換効率の測定では、集光レンズの焦点距離が短くなるにつれて基本波の入射光強度は高くなる反面、結晶の有効長は短くなる傾向を示し、焦点距離55mmにおいて最も高くなることが明らかになった。更にCVLの和周波混合における波長変換では、2つの波長の異なる基本波パルスの発振タイミングのずれにより変換光の発生する部分が制限されると共に、変換光は578nmの光パルス波形に依存することがわかった。

第2高調波発生の実験では、ビーム拡がり角の小さなILOシステムを基本波の光源として利用することによって、最大11.2%の変換効率を得た。しかし、入射光強度を100MW/cm²以上に上げたところ、BBO結晶が破壊した。

今回の実験では、基本波の集光に球面レンズを用いたが、更に変換効率を増加させる方法として、シリンドリカルレンズによる集光が考えられる。球面レンズの場合、結晶に対して角度 ϕ を変化させることになる。結晶のC軸まわりの角度 ϕ は、有効非線形光学定数に依存する値であることから、集光によって ϕ の値を変化させないようにシリンドリカルレンズを基本波の集光に使用する方法が適切であると思われる。

参考文献

- 1) C. E. Webb, "High-power dye laser pumped by copper vapor lasers,"
Chap. 5 in High-Power Dye Lasers, F. J. Duarte Ed., Springer-Verlag.
Berlin. Heidelberg (1991)
- 2) 加藤 洸, " β -BaB₂O₄によるNd:YAGレーザーの第4、第5高調波発生," レーザー研
究 18 (1), 3-7 (1989)
- 3) N. Bloembergen, "Nonlinear Optics," A Benjamin Inc. publishers (1965)
- 4) R. L. Byer, "Parametric Oscillators and Nonlinear Materials," edited by P.
G. Harper and B. S. Wherrett, Academic Press (1977)
- 5) Y. R. Shen, "Nonlinear Infrared Generation," vol.16, Springer-Verlag (1977)
- 6) Y.R.Shen, "The Principles of Nonlinear Optics," A Wiley-Intersci. publisher
(1984)
- 7) 佐々木孝友, "米国における非線形波長変換素子の現状," レーザー研究 14 (10),
923-930 (1986)
- 8) G. D. Boyd and D. A. Kleinman, "Parametric interaction of focused
gaussian light beams," J. Appl. Phys. 39 (8), 3597-3639 (1968)

9) S. S. Charschan, "Lasers in industry," Van Nostrand Reinhold Company
(1972)

10) 浅見義弘、"レーザー工学、" 東京電機大学出版局 (1988)

Table 1. Acceptance angles and effective crystal lengths of KDP at several focusing condition.

focusing length at 511 nm (mm)	calculated acceptance angle (mrad.)	measured acceptance angle (mrad.)	calculated effective crystal length (mm)	measured effective crystal length (mm)
338	24.4	22.0	0.67	0.7
555	14.9	11.0	1.1	1.4
1090	7.5	7.2	2.2	2.5
2100	4.0	3.5	4.1	4.5
4150	2.0	3.1	8.1	5.3

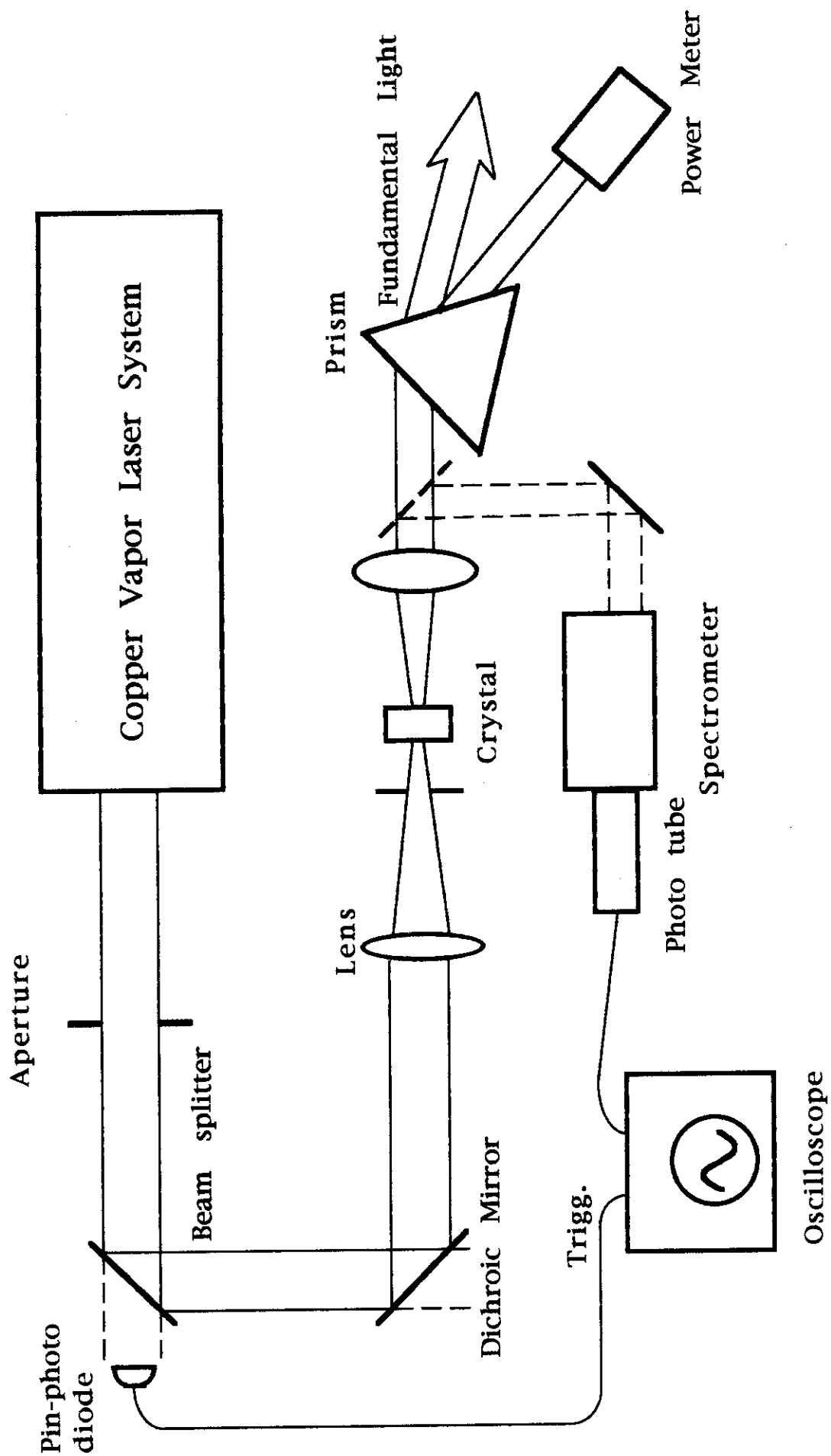


Figure 1. Schematic diagram of experimental set up.

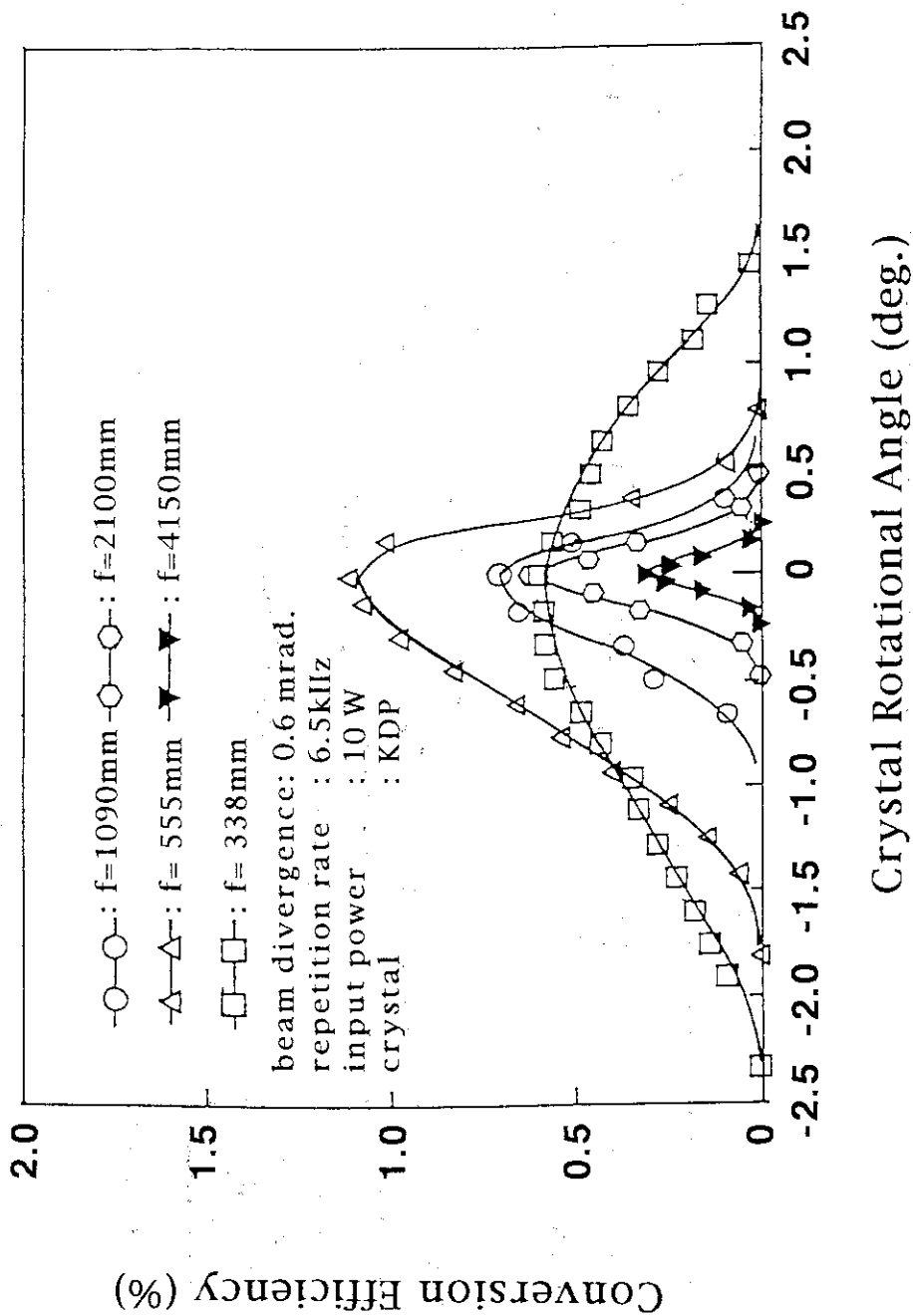


Figure 2. Phase matching curve on crystal rotational angle.

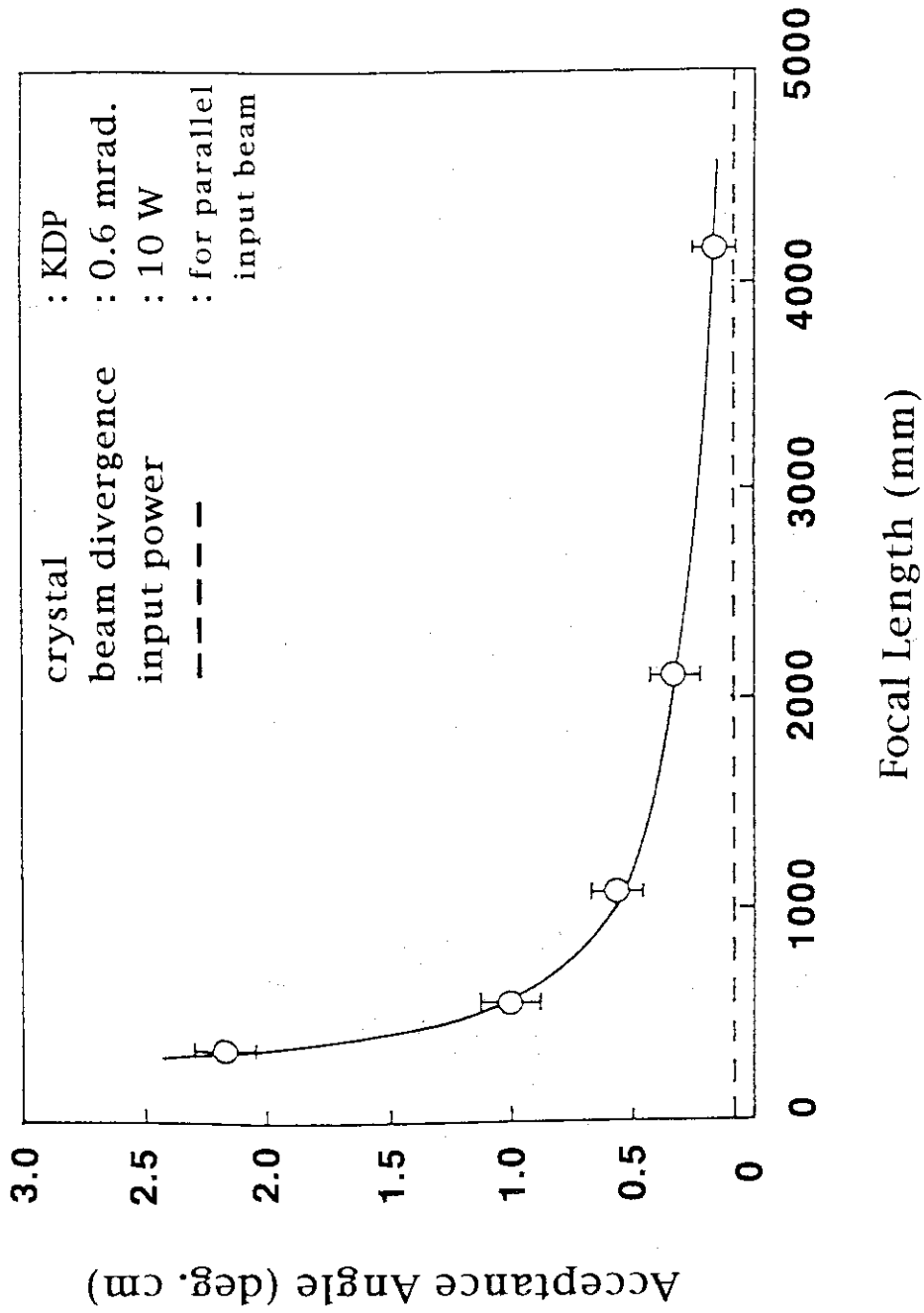


Figure 3. Acceptance angle as a function of different focal length.

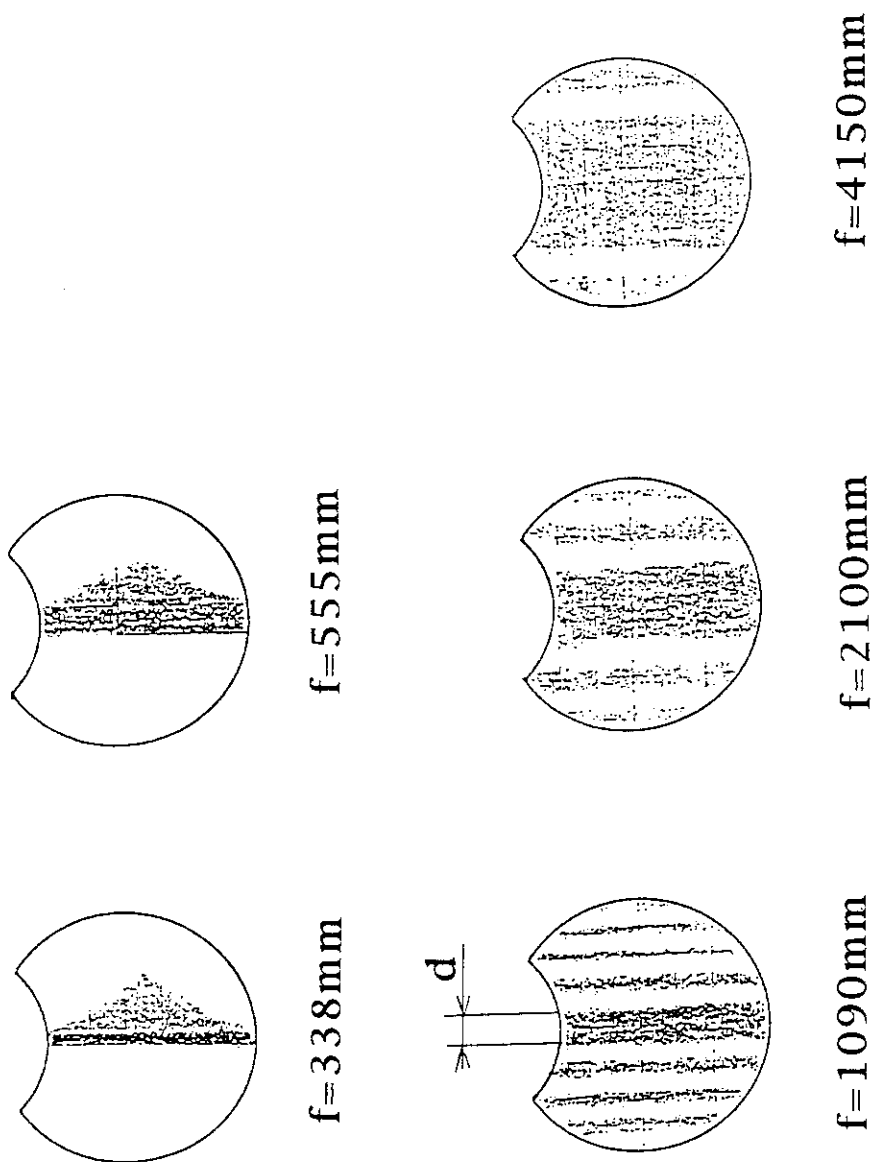


Figure 4. Beam patterns of sum frequency laser light.

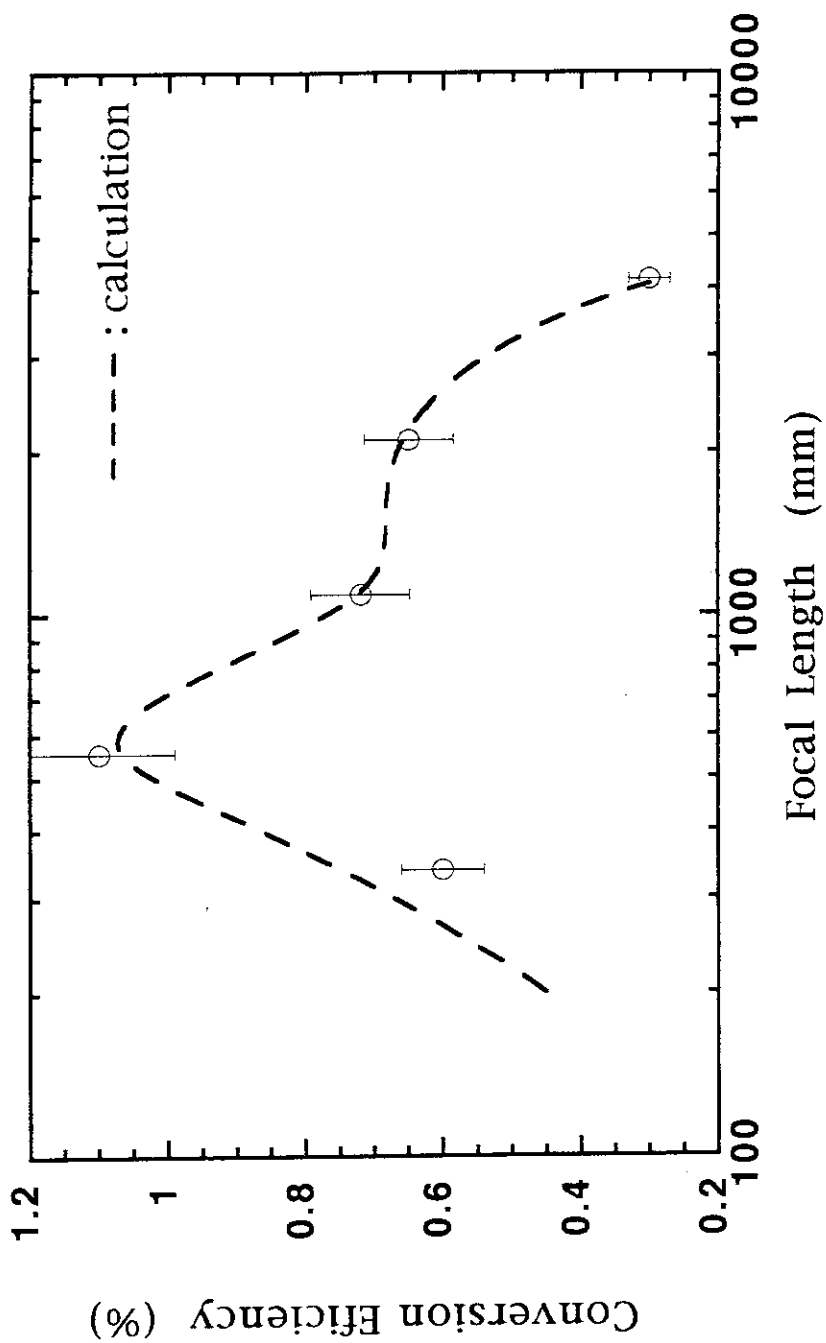


Figure 5. Conversion efficiency of sum frequency generation in several focal lengths at 511 nm.

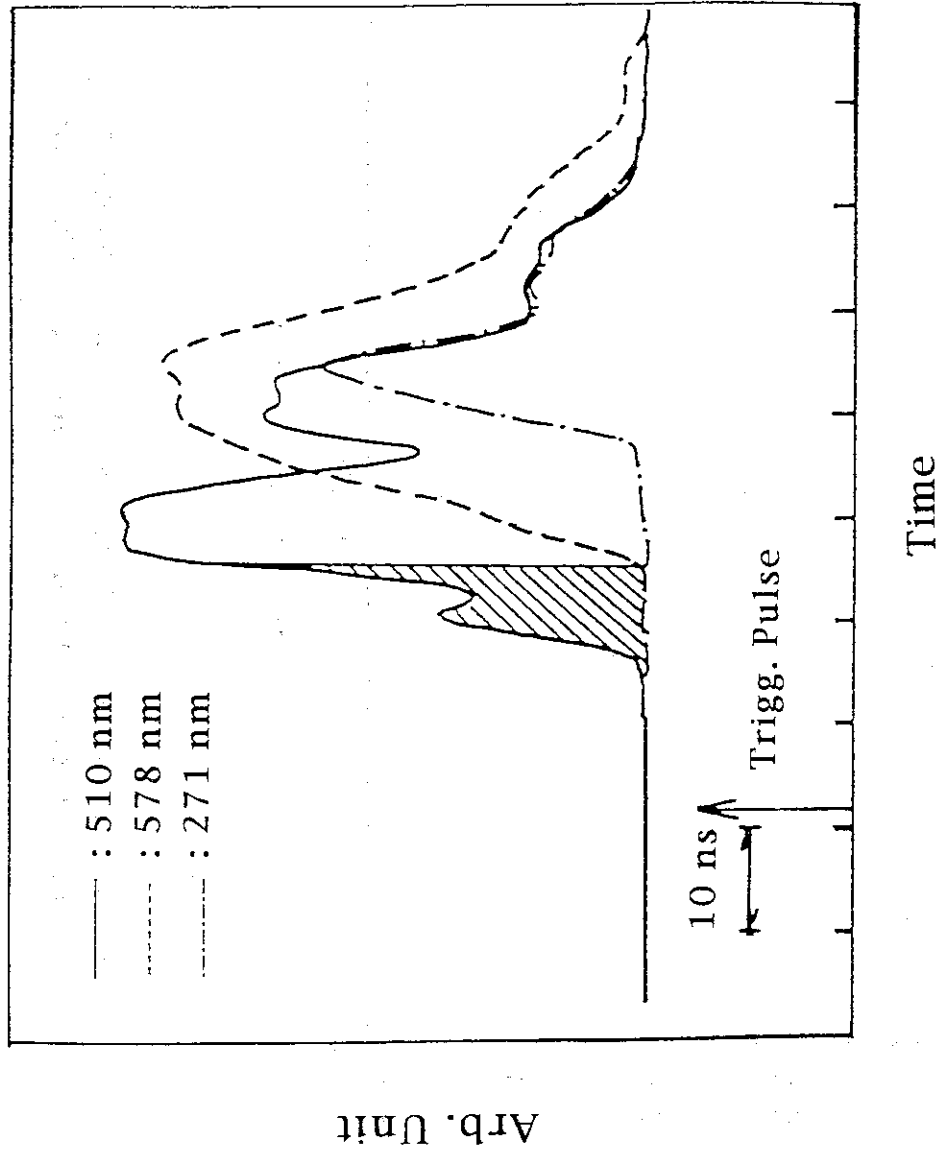


Figure 6. Temporal waveform of superimpose of fundamental and a converted pulses.

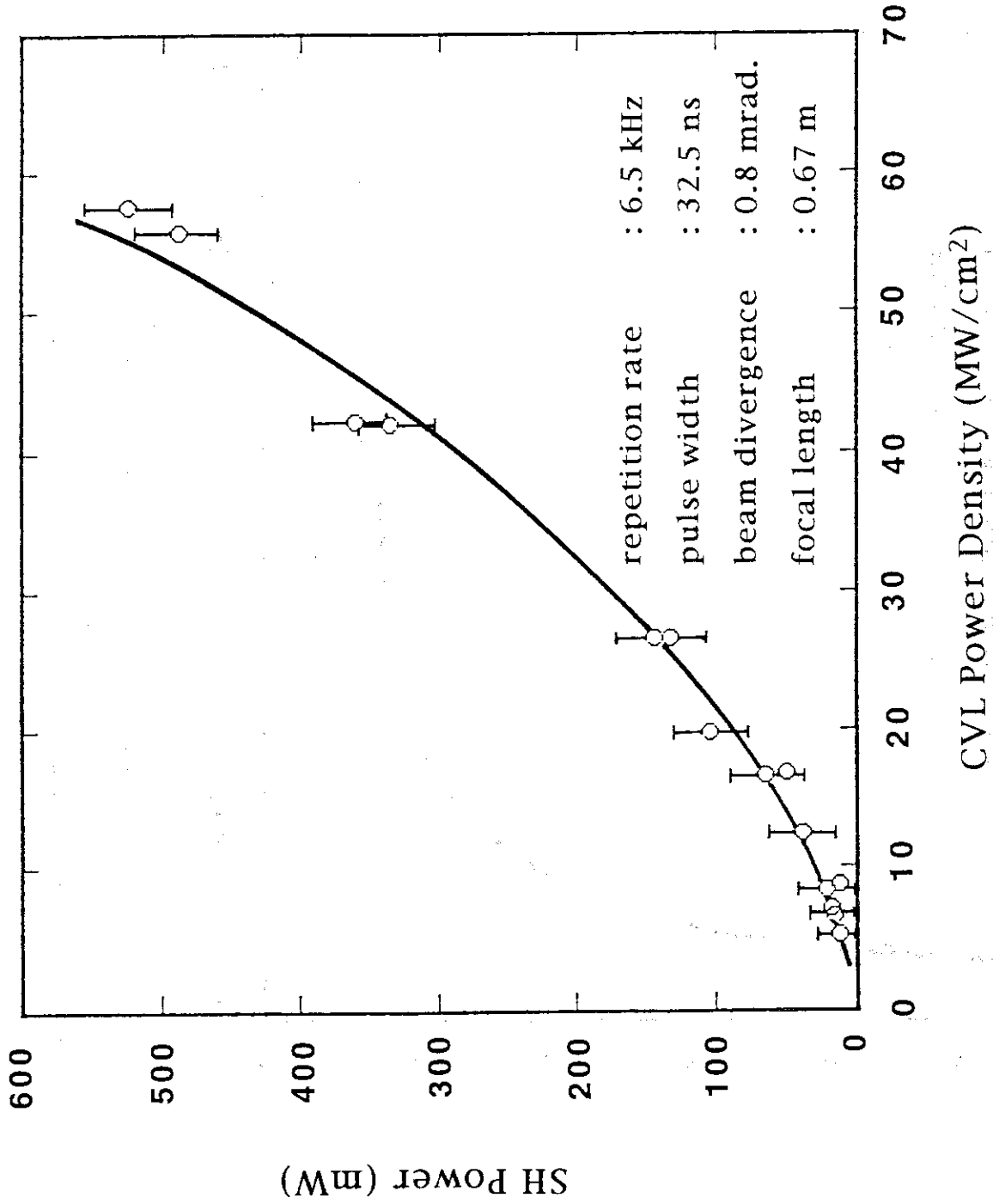


Figure 7. SH conversion efficiency by CVL MOPA system.

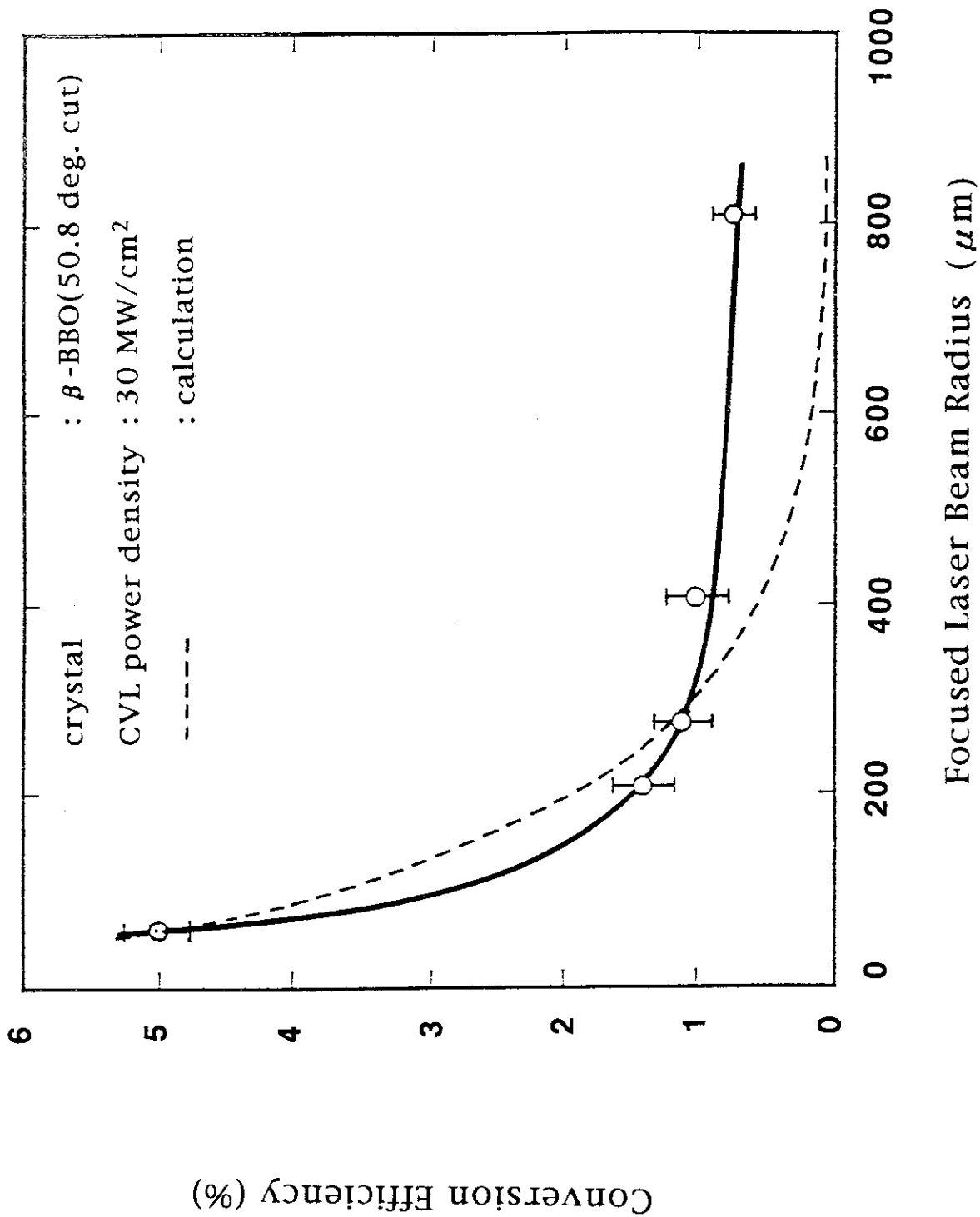


Figure 8. SH conversion efficiency as a function of fundamental laser spot size.

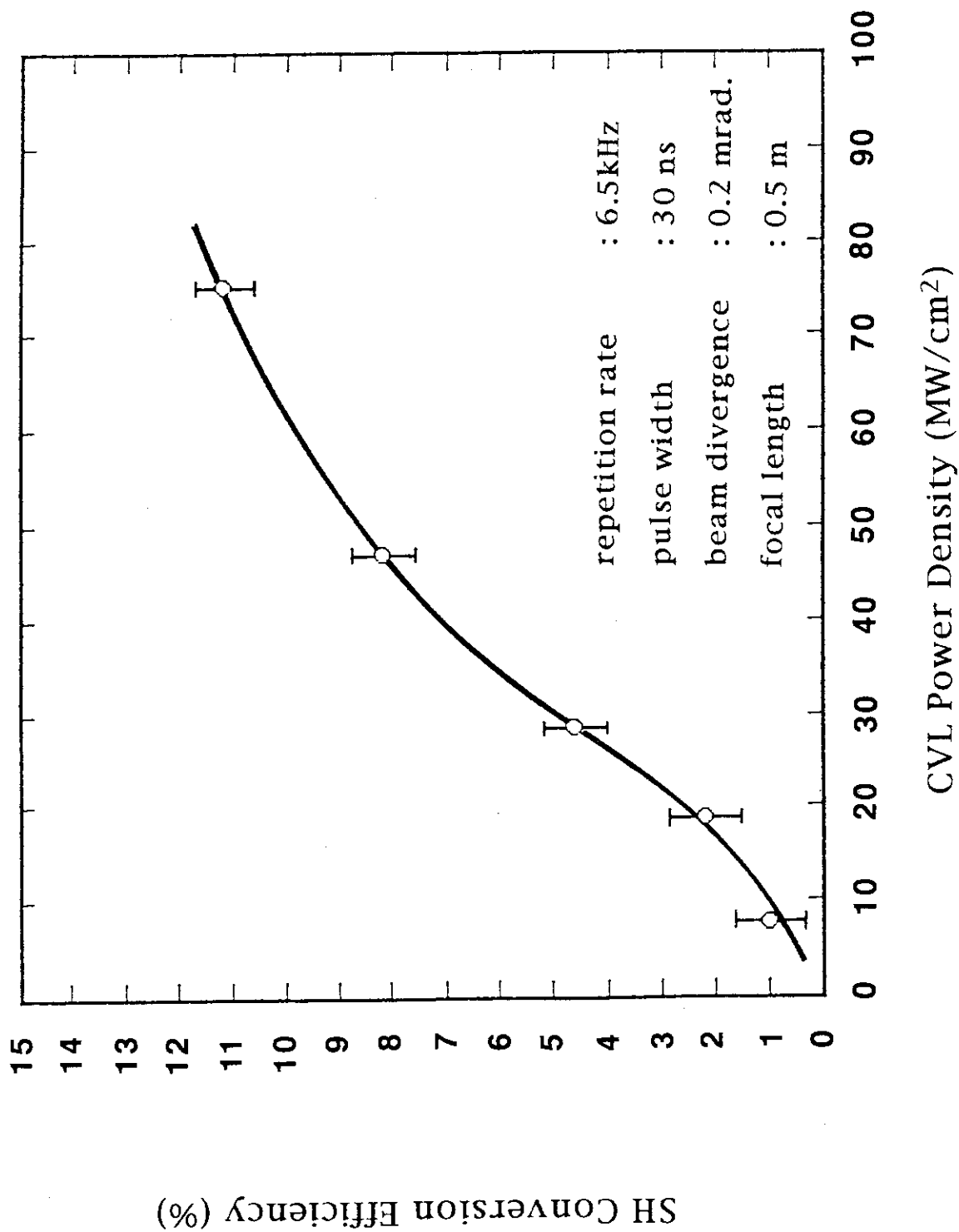


Figure 9. SH conversion efficiency by CVL ILO system.