

## 「フォント計測・加工技術」プロジェクト

特集 プロジェクト研究

森 勇 介\*, 佐々木 孝 友\*\*

Advanced Photon Processing and Measurement Technology Project

Key Words : Photon, Process, laser, CLBO, Measurement

## 1. はじめに

レーザー光の波長は、赤色より青色、青色より紫外の方が短く、短波長ほど光子・エネルギーが大きいことから、集光性や物質との反応性に優れ、加工等に適している。しかし、従来の紫外レーザー光源の中心は放電を利用するガスレーザーであるため、低動作効率、短寿命、急速な特性劣化、高電圧動作、大装置サイズ等の多くの欠点を持っており、運転・メンテナンスに多くの労力と費用・時間を要するという問題があった。そこで、ガスを用いない新しい紫外レーザー光源を開発することが産業応用にとって最も重要な課題となっている。

ガスを用いないレーザーとしては固体レーザーと

いうものがあるが、この固体レーザーはNbなどの不純物の内殻準位を光で励起するため放電を利用する必要がないことから、ガスレーザーの欠点を原理的に克服することが出来る。しかし、固体レーザーでは、発生するレーザー光は主に赤外から赤色までの長波長領域で、これより短波長のレーザー光の発生は非常に困難であるため、固体レーザーを直接、微細加工などに使用することは出来なかった。そこで、波長変換結晶を用いて固体からのレーザー光を紫外レーザー光に変換してやる方法が考えられていた。

だが、この方法では、これまでは従来の波長変換結晶の変換効率が低く、とても実用レベルではなかった。ところが、1993年に我々のグループが赤外レーザー光を紫外レーザー光に高効率に変換し、かつ量産も容易であるという新しい波長変換結晶 CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub> (CLBO) (図1)の発見・開発に成功したことから、ガスではなく固体の紫外レーザー光源の実用化が初めて可能となった。

当初、CLBO結晶は、吸湿性があり機械的には脆いと異性質のため、加工・研磨が問題となっていた。CLBO結晶を発表してから間もなく、光学技研(株)が、CLBOの製品化を行いたいと申し出てきたので、我々と共同で素子化のためのプロセスを



\*Yusuke MORI  
1966年4月19日生  
1991年3月大阪大学・工学研究科・電気工学専攻・博士前期課程修了  
現在、大阪大学大学院工学研究科・電気工学専攻、助手、博士(工学)(大阪大学)、電気材料工学、非線形光学材料  
TEL 06-6879-7707  
FAX 06-6879-7708  
E-Mail mori@pwr.eng.osaka-u.ac.jp



\*\*Takatomo SASAKI  
1943年9月19日生  
1969年3月大阪大学・工学研究科・電気工学専攻・博士前期課程修了  
現在、大阪大学大学院工学研究科・電気工学専攻、教授、工学博士(大阪大学)、非線形光学、レーザー工学  
TEL 06-6879-7706  
FAX 06-6879-7708  
http://sparc-ssk.pwr.eng.osaka-u.ac.jp/  
E-Mail sasaki@pwr.eng.osaka-u.ac.jp



図1 COBO結晶

研究することとなった。その後、加工・研磨プロセスの工夫により、CLBO 波長変換素子の作製に成功し、今度は三菱電機(株)の呼びかけで、通産省「産業科学技術研究開発制度」の一環である「フォトン計測・加工技術」プロジェクトに応募することとなり、採択されることとなった。ここでは、この「フォトン計測・加工技術」プロジェクトについて紹介させていただく。

## 2. プロジェクトの概要

### 2-1 背景

フォトンの発生技術並びにこれを利用した計測・加工技術は、製品の信頼性やエネルギー利用の効率を高めることが可能な、21世紀の産業基盤技術として大きな期待が寄せられている。しかしながら、現状では、高品質フォトンビーム(レーザー)の発生コストは産業分野で広く利用するにはまだまだ高価であり、フォトンを利用した計測・加工技術の高度化も十分ではない。

本研究開発は、フォトンコストの劇的低減を可能にするレーザーダイオード励起の高品質及び高出力の完全固体化レーザー技術、そして波長変換による短波長化技術、並びにこれら高品質フォトンビームを利用した、レーザー溶接技術、超微粒子作製技術、非破壊計測技術の開発を目標としている。これにより、フォトン計測・加工技術の様々な産業分野での活躍が大きく広がるとともに、製品の生産性及び信頼性、並びにエネルギー使用効率が飛躍的に高まり、新規産業の創造にも資すると期待されている。

### 2-2 体制・研究開発内容

本プロジェクトは、通商産業省の産業科学技術研究開発制度により、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が財団法人製造科学技術センターに委託して実施される。研究体制としては図2に示すように、民間13社と大阪大学が製造科学技術センター内に設置されたフォトンセンターから再委託され研究を実施する。通商産業省の産業科学技術研究開発制度で大学が直接の再委託先となったのはこれが初めてのケースである。プロジェクトの期間は平成9年度から13年度までの5年間、総予算は70億円程度が予定されており、プロジェクト全体の研究開発内容は以下のとおりである。

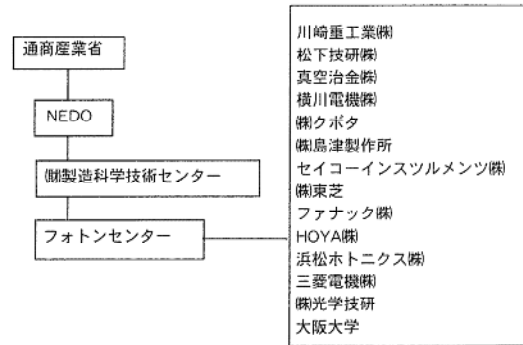


図2 「フォトン計測・加工技術」プロジェクトの体制

#### (1) フォトン加工技術

##### ① マクロ加工技術

レーザー溶接を信頼性の高い施工法として確立し、産業界に広く適用するために、レーザー溶接現象の理論的解明、レーザーハイブリッドプロセス技術開発、及びインプロセスモニタリング技術を確立し、加工場のトータル制御システムの実現を目指した高信頼性レーザー溶接技術を開発する。

##### ② ミクロ加工技術

レーザーによる高温高圧場を用いて、高純度で均一な粒径・構造の超微粒子を作製し、これを集積・堆積することによって新たな量子レベル機能を発現する微小構造体の作成技術を開発する。具体的には、発光に代表される光電変換機能を有する量子ドット構造デバイスおよび電気抵抗・容量可変等の機能を有する微細配線・回路の作成技術を基盤の構築を目指す。

#### (2) フォトン応用計測技術

##### ① in-situ 状態計測技術

フォトン加工等の広範囲のプロセス場の状態を把握するために、赤外域から真空紫外域までのフォトンを利用して、気体や微粒子の成分及び濃度、並びに物体の形状及び温度を高感度で計測する in-situ 技術を開発する。また、温度計測において in-situ 環境での外乱による検出感度の悪化を克服するために、高速高感度の波面補償素子技術を開発する。

##### ② 非破壊組成計測技術

小形高輝度 X線(短波長フォトン)源を用いて、これを構造体や物質表面に照射したときに放出される電子や短波長フォトン等の量子を高感度かつ高空間分解能で計測することにより、物体の表面近傍の組成や状態、並びに物体内部の欠陥や不純物を高精度

で観測する非破壊計測技術を開発する。

(3) フォトン発生技術

① 高出力完全固体化レーザー技術

機械加工のルーツとなる高出力なレーザーダイオード励起完全固体化レーザー技術を開発する。すなわち、高出力・高効率な励起モジュール開発とレーザー発振媒体の熱的影響等の課題を克服することにより高出力・高安定なレーザー発振の実現を目指す。

② 高集光完全固体化レーザー技術

精密・高精度加工のツールとなる、取扱性に優れた、高集光高効率発振のレーザーダイオード励起完全固体化レーザー技術を開発する。具体的には、高品質フロントビームを発生し、伝送系を経た後に加工対象物上の微小空間に集光可能な、完全固体化ファイバーレーザーとその励起に必要な高出力・高輝度半導体レーザー、及び波長変換型高品位パルス・固体レーザー技術を開発する。

阪大は、三菱電機、光学技研とともに、高集光完全固体化レーザー技術の開発を行う。高集光高効率発振のレーザーダイオード励起完全固体化レーザー技術を三菱電機が、波長変換により紫外領域までの高品質レーザービームを発生させる非線形光学素子を実験室で開発する(図3)。

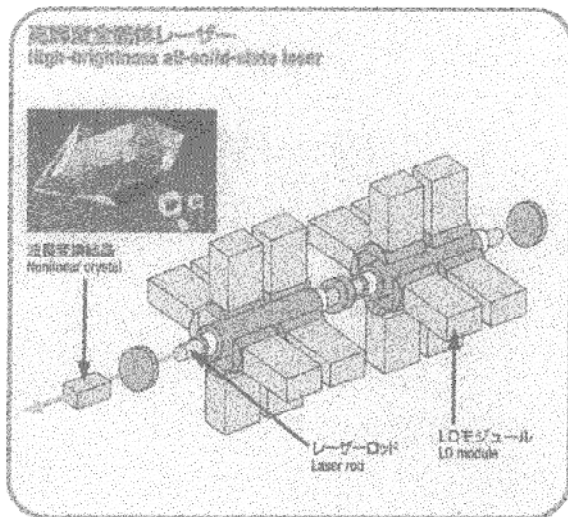


図3 開発する装置の概略図

高集光完全固体化紫外レーザー光源実現のためには、高性能の波長変換用非線形光学結晶が不可欠であるが、高出力紫外光発生のためには優れた非線形光学特性だけでなく、結晶全体において極めて高いレーザー耐力が要求される。そして、極めて低い光

学損失、非常に優れた光学的均一性を有する結晶育成技術、さらには超平坦・超清浄な表面形成プロセスの構築なども重要な要件となる。

阪大は、結晶成長温度、雰囲気、原材料の純度等、結晶育成に影響を及ぼす要因を可能な限り制御した結晶育成装置を作製することで、極高レーザー損傷耐力、極低光学損失、高均一性を有する高品質CLBO結晶の開発を目指している。さらに、砥粒を用いる従来の素子作製プロセスでは、砥粒が比較的柔らかいCLBO表面から60nm程度内部に埋め込まれ、ダメージの原因となる。そこで、イオンビームによる高速エッチング作用を利用することにより、レーザー光の入出力面を清浄な状態に保ったまま残留砥粒の除去と平坦化を行い、高レーザー耐力・長寿命を有するCLBO波長変換素子を作製する。

3. 現状とこれから

現在、三菱電機で開発した120W級の半導体レーザー励起グリーンレーザーを光源とし、大阪大学で作製したCLBO結晶で波長変換することにより、全固体レーザーとして世界最大の20Wの紫外光(波

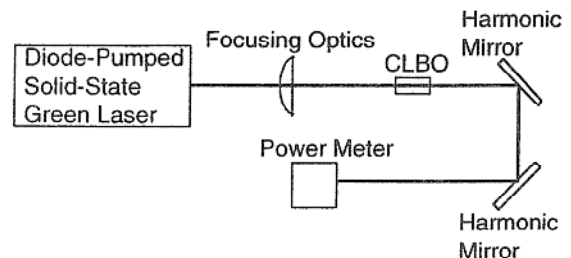


図4 紫外光発生構成

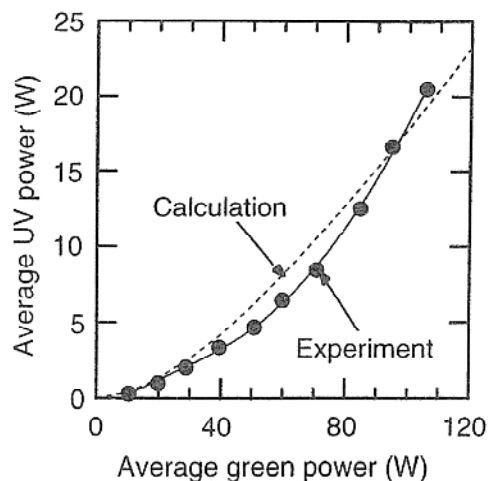


図5 紫外光発生特性

長 266nm) を発生させることに成功している(図 4-5). このときの繰り返し周波数は 10 kHz, パルス幅は 46 ns, 電気-光の交換効率は 1.2% であった.

この結果により, CLBO 結晶を用いた全固体紫外レーザーがエキシマレーザーを凌駕する高出力化への展望が見えたといつてよいであろう. 今後, さらなる高出力化と長寿命化を目指し, 研究を推進す

る予定である.

#### 参 考 文 献

- 1) 森勇介, 佐々木孝友「紫外光発生用の新しい非線形光学結晶 CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub>」応用物理, 第 66 巻, 第 9 号 (1997) p.965-969