

## C L B O 非線形光学素子

研究者：佐々木 孝 友      大阪大学   名誉教授  
開発企業：岡 田 幸 勝      株式会社光学技研   代表取締役  
(推薦者：中 井 貞 雄      社団法人レーザー学会   会長)



佐々木 孝 友 氏



岡 田 幸 勝 氏

### 1. 技術の背景

半導体集積回路は、光を用いたリソグラフィ技術によって、微細な配線が形成されている。昨今の小型化、省電力化を受けてその回路の線幅および線間は数十ナノメートルとなり、より精緻な描画のために、焦点を小さく絞ることが出来る波長 200nm から 350nm 付近の深紫外線領域と呼ばれる紫外線を露光に利用することが主流となっている。

紫外光源としてはすでにエキシマレーザーが利用されているが、露光原盤(フォトマスク)の検査や、ウェハの欠陥検出等、より高解像度が要求される応用分野では、スペクトルの幅がより狭く集光性に優れ、かつパルス密度が高く高速処理が可能な光源が求められていた。

本技術は、入射光のエネルギーの一部をその整数倍の周波数に高効率に変換して出力する特殊な光学結晶と、難加工性のその結晶を高精度に切断、研磨することで、高出力に対応出来る光学素子を実現する生産技術に関するものである。

### 2. 技術の概要

従来よりある種の結晶には、入射光周波数(波長)をより高い周波数(短い波長)の光へ変換する機能があることが知られていた。これは、強い入射光

が結晶と引き起こす相互作用によるもので、この性質は結晶の非線形光学効果と呼ばれている。

セシウム・リチウム・ボレート  $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$  (以下「CLBO」) 結晶は、非線形光学特性をもち、この性質を利用して深紫外光を得るために用いるのが「CLBO 非線形光学素子」である(図-1)。

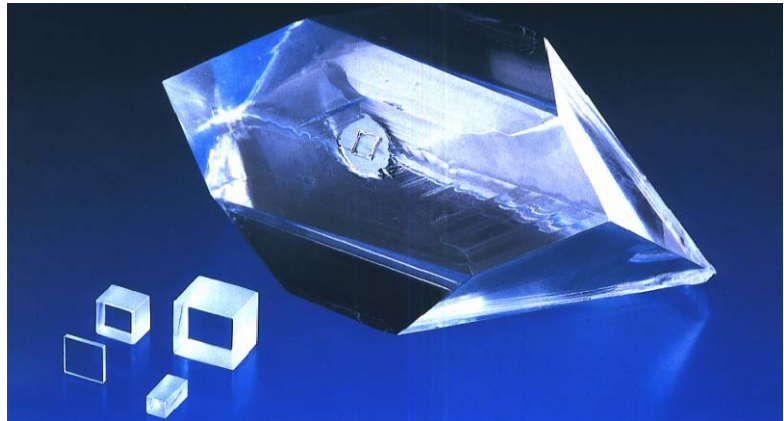


図-1 CLBO 結晶と波長変換素子

CLBO 結晶は 1993 年に、当時大阪大学工学部教授であった佐々木孝友氏らが新規な非線形光学結晶として合成

に成功した物質である。従来より  $\text{LiB}_3\text{O}_5$  (リチウムトリボレート) や  $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$  (ベータバリウムボレート 以下(BBO)) の結晶が光周波数変換の用途で用いられている。特に深紫外領域の光を発生できる結晶としては、当時 BBO が最も有望な材料とされていたが、紫外光を一部吸収することが要因となって生じる光損傷が問題となり、素子の寿命が短く、発生出力も制限されるため、実用化された装置や応用分野は限定的であった。

佐々木氏らが発見した CLBO 結晶は、優れた波長変換特性とレーザー損傷耐性を持つことから、高出力紫外光の発生が可能である。また、高品質な大型結晶を得やすいことから、波長変換素子の生産性においても優位な特徴を持っている。佐々木氏らは新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) の「フォトン計測・加工技術の研究開発」プロジェクトにおいて、高い損傷耐性と経時劣化を抑制できる CLBO 結晶の育成技術を確立している。同プロジェクトでは、この結晶を用い株式会社光学技研、三菱電機株式会社らと共に 2001 年に出力 42W の 266nm 光発生を実証した。その後、NEDO の基盤技術研究促進事業プロジェクトにおいて、さらに短波長の 213nm 紫外光でも出力 10W を達成している。

このように CLBO 結晶は、深紫外領域発生用の素子として優れた光学特性を持つが、一方で環境中の水分を格子中に取り込み吸湿潮解する性質を持つ難加工結晶でもある。

株式会社光学技研は、乾燥雰囲気中で加工した試作素子を佐々木氏らが

評価するという作業を繰り返しながら、実用的な波長変換素子製造技術として乾式加工法を開発した。

加工精度の要求は厳しく、研磨加工面の表面粗さ(rms) 6 オングストローム以下、透過波面収差 20nm 以下、結晶を切断する角度については、目標とする結晶方位に対して  $\pm 0.1$  度以下の精度で安定した加工を行わなければならない。

株式会社光学技研ではオスカー式研磨機を使用して CLBO 結晶の研磨加工

に取り組んでいる(図-2)。この方式は、複雑な研磨加工条件を必要とする素材に対し、高精度な研磨加工面を作製することができる。ただし、CLBO 結晶の場合は水が使用できないため、専用の治具、研磨剤、研磨条件や加工測定の技術を試行錯誤の中で構築する必要があった。同社は 1995 年から開発に取り組み、前述の NEDO のプロジェクトの成果として 2001 年に水を使用しない CLBO 結晶の研磨加工技術(低湿度研磨加工技術:ULPEN)を完成させた。

その後同社では、自社で製造した素子の性能を評価するための解析装置を導入し、同社の低湿度研磨加工技術について、生産技術と評価方法の標準化を進め、2006 年度には国内外の研究機関・企業に年間 230 個程度の CLBO 素子を出荷した。

光源業界からの要望も強く、それに対応するため同社では 2010 年度に CLBO 結晶専用の研磨加工室を設備し、素子の生産体制を確立している。これにより 266nm, 213nm の紫外光源を完全な固体構成で製作することが可能になり、本領域での先端研究を容易にすることで研究領域の発展に大きく寄与するだけでなく、現行で 5000 時間以上の寿命を持つ、半導体製造ラインの検査装置光源として、世界でただ一社、非線形光学素子の量産出

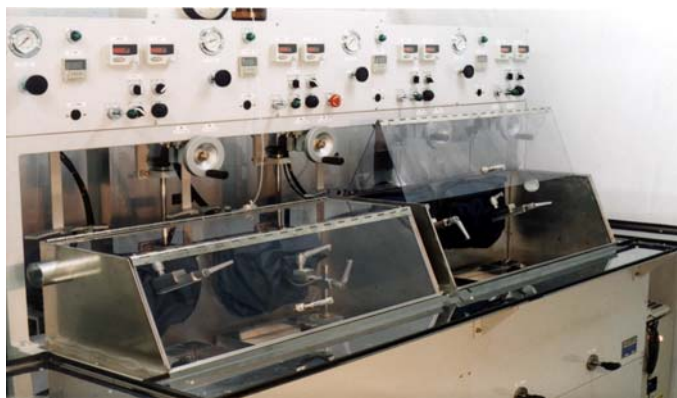


図-2 オスカー式研磨機(上)と研磨加工部(下)

荷を続けてきた実績を持っている。

### 3. 効果

CLBO 素子は半導体製造ラインの中でフォトマスク欠陥検査用のレーザーに搭載されるようになり、その優れた性能、品質が広く認知され始めている。また現在、広く普及している窒化ガリウム系結晶の省電力 LED のサファイヤ基板を加工する紫外レーザーへの応用やプリント配線板の極小径孔加工、半導体シリコンウェハの検査においても、CLBO 素子を搭載したレーザーの活躍が期待されている。

難加工性の CLBO 結晶の加工技術を確立した現在、発明から生産技術の確立まで、全てが日本独自といえる本技術は、今後も優位性を保つことが予想され、レーザー関連装置の莫大な市場へのインパクトや、製造される半導体製品が与える産業・社会的影響は極めて大きいと言える。