

## 博士学位論文要旨等の公表

学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条に基づき、当該博士の学位の授与に係る論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

|         |   |
|---------|---|
| 氏名      | 宮田 憲太郎  |
| 学位の種類   | 博士（理工学）   |
| 報告番号    | 甲第10号   |
| 学位授与の要件 | 学位規程第4条第2項該当  |
| 学位授与年月日 | 平成21年9月2日   |
| 学位論文題目  | 「Advanced nonlinear frequency conversions<br>in BIBO<br>(BIBOを用いた最先端・非線形周波数変換)」 |
| 論文審査委員  | 主査 教授 加藤 洸<br>委員 教授 山中 明生<br>委員 教授 川辺 豊   |

# 学 位 論 文 要 旨

光科学研究科 光科学専攻

氏 名： 宮田 憲太郎

## BIBO における最先端・非線形周波数変換

本論文は、低対称性・無機結晶の  $\text{BiB}_3\text{O}_6$  (BIBO) を用いた最先端のレーザ周波数変換技術について報告したものである。位相整合、群速度整合、非線形光学結合の有無などの特定物理条件のいくつかの偶然的な一致を利用することにより、筆者は非線形光学において新たな発見、そして非常に有用なレーザ周波数変換を成し遂げている。

本研究における最初の重要な結果は、非中心対称性結晶における純  $\chi^{(3)}$  第三高調波の位相整合条件下での発生である。BIBO のような非中心対称性結晶を用いた第三次非線形過程による周波数変換は、反転対称性の欠如から、第二次非線形性によるカスケード過程を含む。しかし筆者は、対称性及び複屈折率を検証した結果、カスケード過程がゼロ有効非線形性により打ち消される条件において、第三次非線形直接過程が位相整合条件を満たし、そして発生することを明らかにした。BIBO の  $x$  軸方向において、タイプ 1 及びタイプ 2 相互作用より、第三高調波  $0.3263$  及び  $0.3837\mu\text{m}$  光が  $20^\circ\text{C}$  の位相整合条件でそれぞれ観測された。さらに、位相不整合の第二高調波が観測されなかったことから、カスケード過程によるエネルギー伝達は存在しなく、純粋な第三次非線形過程による第三高調波が発生されたことが確かめられた。そのような周波数変換は、八つの点群で確認できることがわかり、いくつかの  $\chi^{(3)}$  テンソル、そして三つのフォトンの量子相関を直接計測するのに有用であることが結論付けられた。

筆者は、第二の研究で、複屈折率位相整合技術を用いて初となる、一個の結晶からの赤青同時発生に成功した。この周波数変換技術は、緑色光を使用して行われるために、一個の固体レーザをベースとしたコンパクトで効率的な RGB システムを与える。 $0.5321\mu\text{m}$  光励起パラメトリック発振器の出力光を基本波  $1.0642\mu\text{m}$  光と混合することにより、タイプ 1 とタイプ 2 位相整合より、和周波  $0.4627$  及び  $0.6260\mu\text{m}$  光の発生、すなわち二つの非線形過程が、同時に一個の BIBO 結晶において観測された。その同時位相整合は、温度安定条件で満たされ、且つレーザ光の非同軸構成より広範囲な波長チューニングが可能。また、結晶方位角度を通じて有効非線形光学定数を変化させることにより、赤青光の光強度比を調整できる。従って、高出力レーザプロジェクションシステムのための有用な RGB 光源であると言えよう。

筆者は第三に、BIBO を用いたフェムト秒エルビウムファイバレーザの高効率第二高調波発生の研究を行った。その高い安定性とコンパクトさから、エルビウムファイバレーザの第二高調波は、既存の低出力・フェムト秒チタンサファイヤレーザに代わる

非常に信頼性の高い光源となる。筆者は、モード同期エルビウムファイバレーザの発振領域において、BIBO が位相整合条件を群速度整合と同時に満たすことを明らかにしている。そのことから、59fs という短いパルスを 56MHz で発振しているモード同期エルビウムファイバレーザ・増幅器システムを使用して、BIBO における第二高調波の実験を行った。5mm 長の BIBO サンプルの使用により、基本波の一定のパルス幅を保ったまま、変換効率 23% のフーリエ限界第二高調波パルスが得られた。また、6mm 長のサンプルより、わずかに広い 73fs の第二高調波パルスで、最大変換効率 27% が得られた。同条件での 6mm 長の BBO と比べ、5mm 及び 6mm 長のサンプルで測定された出力は、それぞれ約 1.5 及び 1.8 倍高かった。この結果は、BIBO のより小さいウォークオフ角度、大きい角度許容、及び高い非線形性によるものである。筆者が知る限り、この研究で得られた変換効率は、今までに文献で報告されているサブ 100fs 発振エルビウムファイバレーザの第二高調波として、最も高い値である。

上に記述したすべての実験において、筆者が導出したセルマイヤ及び熱光学分散式がパラメータ計算のために使用され、見事な理論と実験の一致が得られている。そのことは、BIBO のほぼ全透過領域において、これらの式の信頼性を確固たるものとするだけでなく、筆者の実験の一貫性を示す。現在の研究は BIBO をこれらの応用に用いたわけだが、その提案された技術は、他の材料、そして他の周波数変換方法に容易に応用でき、様々な分野における多くの応用に非常に有用であろう。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、 $\text{BiB}_3\text{O}_6$  (BIBO) 結晶の使用による (1) 高次非線形光学過程でのレーザ周波数変換の研究、(2) RGB 及び (3) フェムト秒レーザシステムへの応用研究を目的とし、研究発表会 (公聴会) では、実際に提案された 3 つの周波数変換技術について詳細な解説がなされた。

高次非線形過程の研究では、非中心対称性結晶において初の試みとなる、第三次非線形感受率のみの寄与による第三高調波の発生が報告された。適切な複屈折率があると仮定した場合、二回転対称軸を持つ結晶において、そのような低次カスケード過程を含まない周波数変換が、位相整合条件で得られることが判明。また、同物理条件下での周波数下方変換より得られる 3 光子の量子相関への応用の可能性が示された。

RGB 光源への応用技術として、複屈折率位相整合を使用した赤色及び青色光の同時発生が報告された。温度高安定性の利点に加え、同時位相整合条件での両色の波長及び光強度の調整方法が新たに提案され、高出力 RGB プロジェクションシステムにおける有用性が示された。

一方、超短パルスレーザシステムの基本光源となり得る、エルビウム・ファイバレーザの第二高調波光が、BIBO において高効率発生可能であることが報告された。光伝播中に引き起こされる群速度不整合、及びウォークオフ角度を十分補償する角度条件において、20 パーセントを超える変換効率を 100fs 以下のパルス幅で発生させ、他結晶での結果を凌駕する記録を残した。

発表会後の質疑応答では、直接過程とカスケード過程、RGB システムにおける三原色間の強度比較、BIBO 及び BBO のオリエンテーションにおける物理特性の違いなど、いずれの点に関しても明確な説明を行った。

以上の結果から、本論文は千歳科学技術大学大学院学則第 25 条及び千歳科学技術大学学位規程の定めるところにより、博士 (理工学) の学位を授与するに十分との結論に達した。