

超短パルス光のコヒーレントビーム加算

西岡研究室 名原大翔

1. はじめに

コヒーレントビーム加算では、電界波形の重ね合わせが行われる。電界波形の重ね合わせであるから、加算させる光波間で電界波形が揃っている必要がある。コヒーレントビーム加算は電界波形の重ね合わせであるため、得られる光強度は重ねる光の電界強度の2乗に比例して強くなる。

超短パルス光は広いスペクトル帯域を持つ。そのため、群遅延分散の影響を受けやすく、波長歪みを生じやすい。加算を行うためには、波長歪みの補償が必要となる。

この研究室では、2つの超短パルス光間でそれらを補償し、片方のパルスに形を揃えて重ね合わせることを目的とした。

2. 周波数分解 2 光波混合

どのような光も、そのフーリエ成分は正弦波として扱うことができる。それを、2光波混合を用いて位相を揃えて合成すれば、波形歪みを矯正してパルス光の合成を行うことができる。この研究室では、波長歪みを補償するために、個々のフーリエ成分を位相合成する手法を取った。

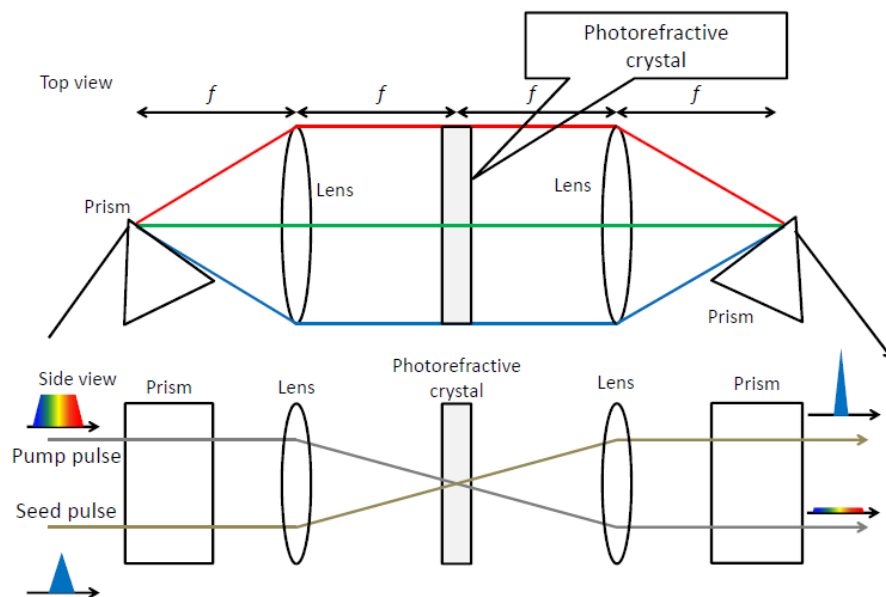


図1 実験装置の概念図

2つのパルスを地面に対して水平に、平行にプリズムに侵入させる。プリズムによって光はフーリエ変換されて、周波数毎に空間的に広がる。2つの光波は、その周波数成分毎に干渉することになる。2つの光波が干渉する位置に、位相合成するための結晶を配置する。

フーリエ成分を位相合成するために、ここではフォトリフラクティブ効果を利用した。この効果を持つ結晶に同じ色の単色光を照射して干渉させると、干渉縞が発生する。発生した干渉縞によって電子密度が変化し、空間電場が発生する。この電場によって屈折率変化が生じる。この屈折率変化は干渉縞に対して位相が90度ずれており、ブラッグ回折を起こした光は位相が180度ずれ、もう一方の光波に混合される[1]。

光波混合された光は、もう一度プリズムを通ることで、フーリエ逆変換される。

3. 加算可能な最小のパルス幅と最長のパルス幅の検討

実際の実験装置は図2のようになる。プリズムと、焦点距離が500 mmの凹面鏡を用いて4-f構造を実現している。光波混合を行うために鉄ドープされたニオブ酸リチウム結晶を利用した。この結晶は赤外吸収を持たないが、青色光照射によって中間準位を形成することで、赤外露光を可能としている[2][3]。

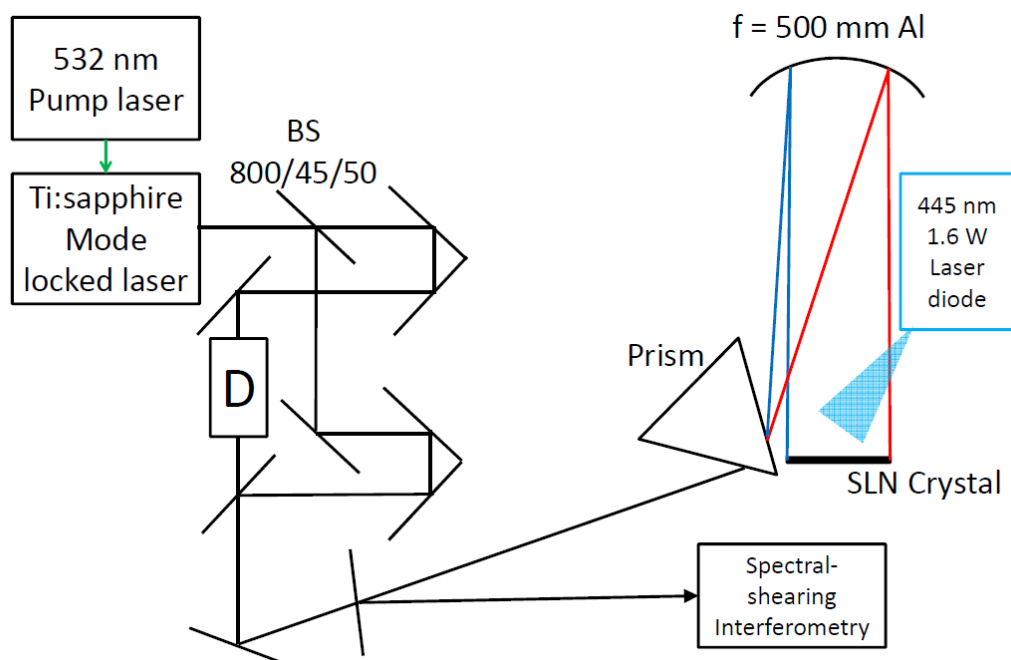


図2 実験装置図

ここで、実際に加算可能なパルス幅を知る必要がある。フーリエ変換にプリズムを用

いた場合、単一の周波数に分解することができず、分けられた光はプリズムの周波数分解能に相当する帯域幅を持つことになる。つまり、加算可能な最長のパルス幅はプリズムの周波数分解能で決まることになる。

位相合成を行うためには、光波混合結晶を光が透過する必要がある。言い換えれば、光波混合結晶を透過する周波数成分のみが位相合成されることになる。つまり、加算可能な最小のパルス幅は実験系の大きさで決まり、光波混合結晶を透過する周波数帯域幅を求めることで知ることができる。

周波数分解能は、プリズムの材料とビーム径によって決まる。最小のパルス幅は、結晶の大きさ、レンズの焦点距離、そしてプリズムの角度分散(プリズムの材料)によって決まる。周波数分解能を大きくすれば、その分長いパルスを加算することができる。一般的に周波数分解能が高い材料は角度分散も大きくなる。角度分散が大きいと、結晶に当たる帯域幅が狭くなり、結果加算可能な最小のパルス幅が長くなってしまふ。そのため、実験に適するように選ばなくてはならない。実験において、加算したい光の周波数帯域は、700 nm から 900 nm である。今回の実験では、この周波数帯域が光波混合結晶を透過する条件の中で、最も周波数分解能の高い材料を用いたプリズムを選ぶと良い。

ここでは、SCHOTT 社が公表している屈折率を利用して、合成石英(SQ)、F2、SF10、SF11、そして 2 種類の BK7 について、それぞれを材料としたプリズムを使用した場合に加算可能なパルス幅を計算した。その結果が図 3 となる[4][5]。

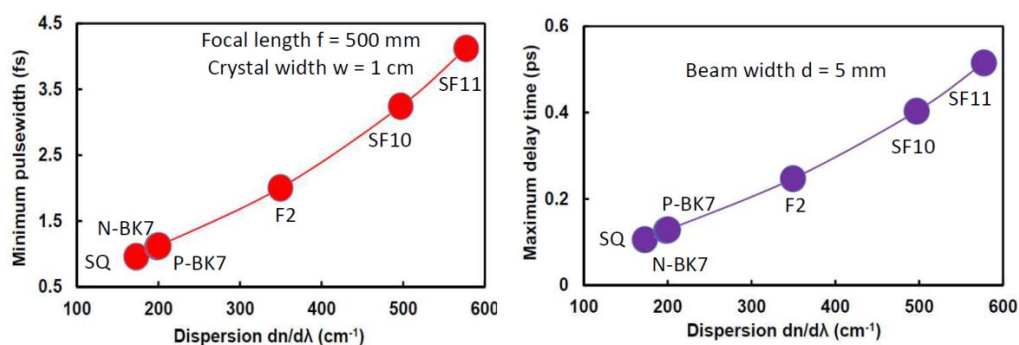


図 3 加算可能なパルス幅の計算結果

ここでは、焦点距離を 500 mm とし、結晶の幅は 1 cm 、ビーム径は 5 mm として計算した。

計算結果から、最も分解能の高い SF11 によるプリズムを用いた場合でも、光源と同じ 10 fs のパルス光を加算することが可能と言う結果が得られた。また、その場合、加算可能な最長のパルス幅はおよそ 500 fs という計算結果が得られている。

4. まとめ

今回の研究では、周波数分解 2 光波混合法による 2 つの超短パルス光の合成を行うための装置の設計及び構築を行った。そのために、ここではプリズムの材質による角度分散や周波数分解能を計算し、加算可能な最長のパルス幅及び、加算可能な最短のパルス幅を計算した。その計算を行い、加算したい光の周波数帯域をカバーできる材料の中で最も分解能が高い材料は SF11 という結果が得られた。この時、SF11 プリズムを用いた時の加算可能な最長のパルス幅は約 500 fs、加算可能な最小のパルス幅は約 4 fs である。

参考文献

- [1] “Introduction to photorefractive nonlinear optics,” Pochi Yeh.
- [2] Harald Guenther, Roger Macfarlane, Yasunori Furukawa, Kenji Kitamura, and Ratnakar Neurgaonkar, “Two-color holography in reduced near-stoichiometric lithium niobate,” Applied Optics Vol. 37, p.p. 7611-7623 (1998).
- [3] Koji Tada, and Hidekazu Nakajima, “Nondestructive readout two colour holographic memory in near stoichiometric lithium niobate single crystal,” 福井大学研究紀要 第 36 号 33-38 (2006).
- [4] SCHOTT,
http://www.schott.com/advanced_optics/japanese/abbe_datasheets/schott_datasheet_all_japanese.pdf.
- [5] SCHOTT,
<http://www.thorlabs.com/images/TabImages/Fused%20Silica%20Data%20Sheet.pdf>