

周波数分解フォトリフラクティブ増幅を用いた超短光パルスの合成

西岡研究室 石崎 曜(0512009)

1. 序論

超短パルス光は群遅延および群遅延分散によってその時間波形を変える。形の違う二つのパルスを合成するためには二つのパルスのフーリエ位相を補償する必要がある。

本研究ではスペクトルが同じで形の違う2つのパルスを片方のパルスに群遅延、群遅延分散を補償し合成する方法の開発を目的としている。

2. パルス合成の原理

各周波数におけるフーリエ位相 $\phi(\omega)$ は以下の式で表される。

$$f(t) = \int F(\omega) \exp[j\omega t + \phi(\omega)] d\omega \quad \text{式 1}$$

$$F(\omega) = \int f(t) \exp[j\omega(t)] dt \quad \text{式 2}$$

図1のように周波数ごとの $\phi(\omega)$ が一定であればフーリエ限界パルスとなり、二次関数であれば線形チャープパルスとなる。

パルス合成の条件には、パルスを周波数別に分解することと、分解したパルスをフーリエ成分ごとに位相をそろえて加算する必要がある。本研究においては周波数分解を行うためにプリズム分光器を使用し、フーリエ成分ごとに位相をそろえるためにフォトリフラクティブ増幅[1,2]を使用した。

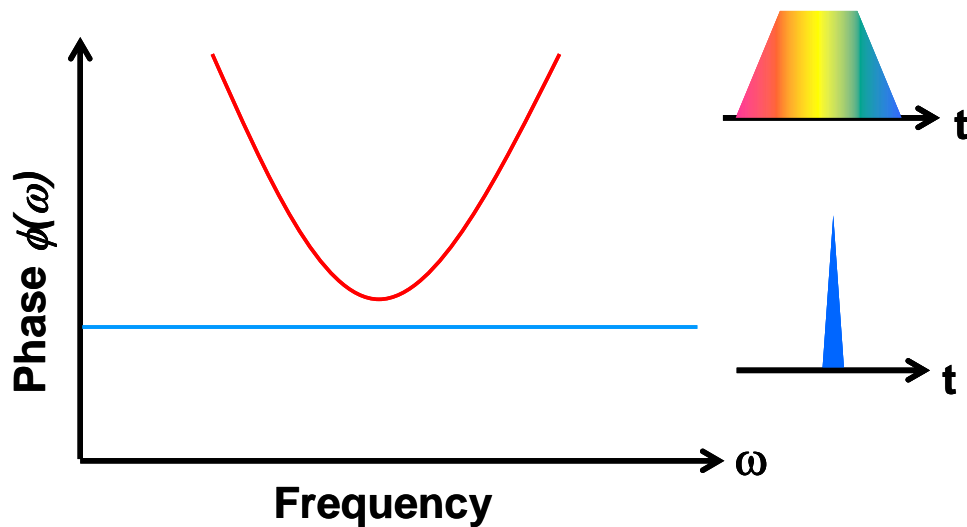


図1. 群遅延分散

3. 周波数分解フォトリフラクティブ増幅器

図 2 は周波数分解フォトリフラクティブ増幅器の原理図である。プリズム、レンズ、フォトリフラクティブ媒質を距離 f で等間隔に配置しており、プリズムに入射することで周波数を角度の関数に変換し、レンズを通すことで位置の関数に変換している。後方に配置されているレンズとプリズムによってフーリエ逆変換を行っている。下図のように基準となるパルスと位相歪を持つパルスがフォトリフラクティブ結晶中で交差し、2つのビームを合成するようになっている。

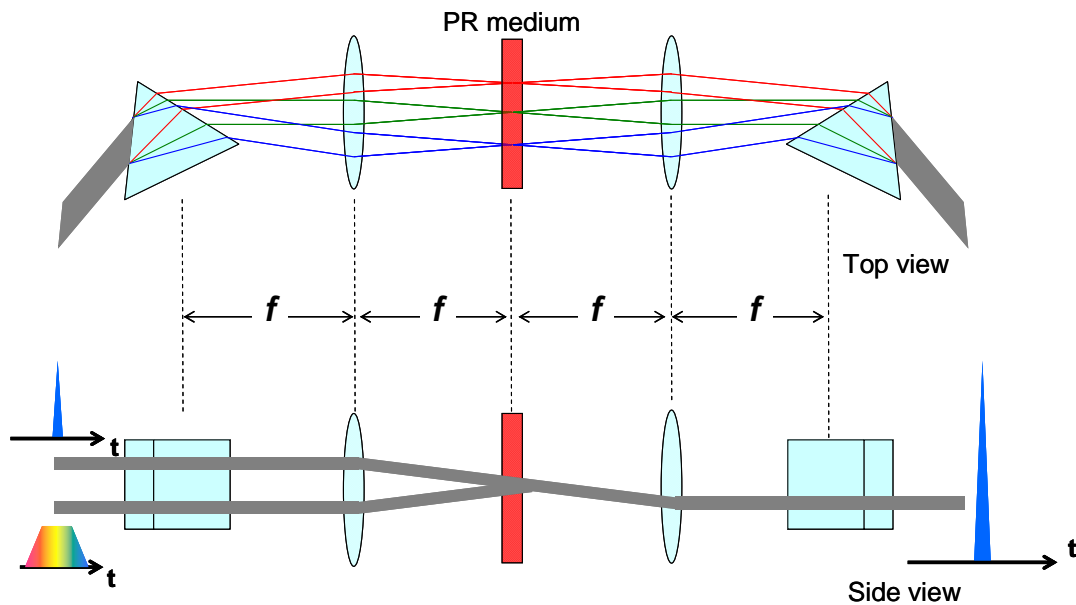


図 2. 周波数分解フォトリフラクティブ増幅器の原理図

図 3 は周波数分解フォトリフラクティブ増幅実験の概略図である。光源はチタンサファイアレーザーでパルス幅 10 fs、スペクトル帯域 700-900 nm である。ハーフミラーでビームを2つに分け、上下で1/4インチの間隔を置いている。片方には図のように媒質を通して群遅延分散を発生させ、基準となるパルスと平行にプリズムへと入射している。球面鏡で反射し 10 mm の Fe:LiNbO₃ 結晶で交差している。ミラーで折り返すことにより、4f 光学系を構成している。折り返された回折光スペクトルの時間変化を分光器で測定した。

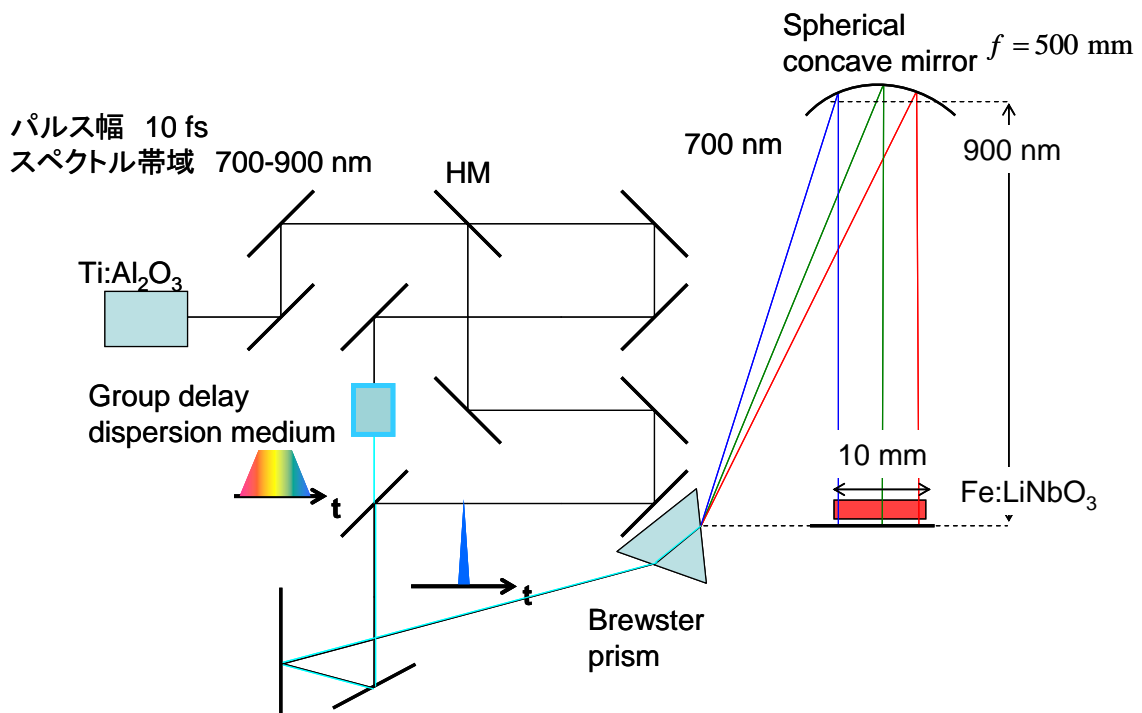


図 3. 周波数分解フォトリフラクティブ増幅器の概略図

4. 回折光スペクトル強度の時間依存性

回折光の光強度は図 4 のようであった。スペクトル帯域 730-830 nm において回折光が確認された。このスペクトル帯域が幅 10 mm の結晶により制限されている。時間 145 分まで強度は上昇した。

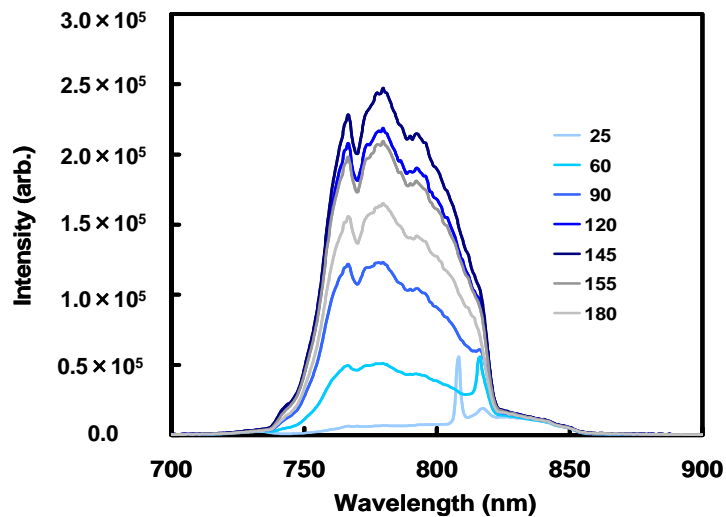


図 4. 回折光のスペクトルの時間変化

回折効率を図 5 に示す。回折効率は、120 分まで露光時間の 2 乗に比例した。光を照射する時間に応じて結晶中に電子が発生し、電子に比例して電場が発生し、電場強度に比例して屈折率が変化し、この 2 乗に比例して回折効率が変化する。そのため露光時間の 2 乗に比例する。また、時間 145 分から露光時間の 2 乗に比例する式と一致しなかったが、光源からプリズムまでで約 1 メートル程度、増幅器が往復で 1 メートルあり、折り返して戻ってくるまでの間に許される位相差は中心波長 800 nm の半分である 400 nm である。従って、2 m の距離で 120 分の間 1/2 波長以下に光路長差が保たれていたことになる。

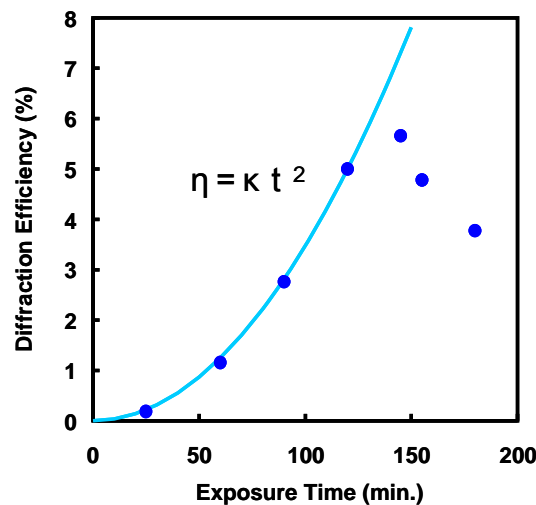


図 5. 回折効率の時間変化

5. 結論

周波数分解する事により、100 THz の帯域で超短パルス光の増幅と合成に成功し、それにより Fe:LiNbO₃ 結晶は Ti:Sapphire レーザーの合成に使用できる事を示した。合成により 5% を超える回折効率が得られた。この回折効率は露光時間の 2 乗に比例するので、3 倍の光強度を用いれば 45% の回折効率を実現可能である。

参考文献

1. Dashan Li, De'an Liu, Ya'nán Zhi, Zhu Luan, Liren Liu, "Study of near-infrared nonvolatile two-center holographic recording in LiNbO₃:Fe:Rh crystal" *Optik* **120**, 313-317(2009).
2. Seunghoon Han, Bong-Ahn Yu, Senghwan Chung, Hwi Kim, Jungwook Paek, and ByoungHo Lee, "Filter characteristics of a chirped volume holographic grating" *Opt. Lett.* **29**, 107-109(2004).