

サブフェムト秒の時間分解能を持つ光学的遅延回路の開発と応用

(神戸大学*, 法政大学**) ○橋本恭平*, 狩野覚**, 和田昭英*

【序論】超高速分光においてポンプパルスとプローブパルスの時間差は、通常はU字型にミラーが配置された光学的遅延回路で制御される。この場合、時間掃引のステップはステージ移動距離の2倍となり、 $1\mu\text{m}$ のステージ移動での時間ステップは約7 fsである。この値は10 fsを切る近年の時間分解能の向上から見て不十分である。これまでにより細かい時間掃引を行う方法としてこれまではフィードバック制御をかけたPZT素子を用いる方法[2]や光路中の気体の濃度を変える方法[1]が採られてきた。本研究では、最小移動距離が $1\mu\text{m}$ の市販のステージと光学素子を用いて、フィードバック等の複雑なシステムを用いること無しに数アト秒の時間ステップでの掃引を可能にする光学遅延回路を作製した。回路の評価をレーザー光(波長532 nm)の自己相関で行った結果、約5.3 asのステップで掃引出来ることを確認された。

【光学配置】Fig.1 に光学遅延回路の光学配置を示す。光路の形から以後はこの回路を「W型光学的遅延回路」と呼ぶ。input から入った光はハーフミラー(HM1)で2つに分けられる。反射光は移動ステージ上に設置されたミラー(M1)に入射角 θ で入射する。透過光はM2で角度 ϕ で反射され、M1に入射する。M1はステージの移動方向に角度 θ 傾けて配置されている。M1で反射された光はそれぞれペリスコープ(P1,P2)に入射し高さを変化させ、再びM1に戻される(Fig.2)。M1で反射された光は高さを変えられているため、HM1, M2の上部を通過しHM2で再び重ね合わせられる。ステージの移動距離 ΔX によって得られる光路長の変化 ΔL は、M1, M2の角度 ϕ, θ で制御可能であり、次式で表すことが出来る。

$$\Delta L = 4\Delta X \sin\theta [\cos\theta - \sin(\theta + \phi)] \quad (1)$$

(1)式より、 $\theta = 5$ 度、 $\phi = 85$ 度とした場合、 $1\mu\text{m}$ のステージ移動で生じる光路差は1.3nmとなり、5 asでの掃引が可能となる。

【実験結果】実際に $\theta = 5$ 度、 $\phi = 85$ 度の条件で光学的遅延回路を組み、レーザー光の自己相関波形を測定することにより装置の評価を行った。光源

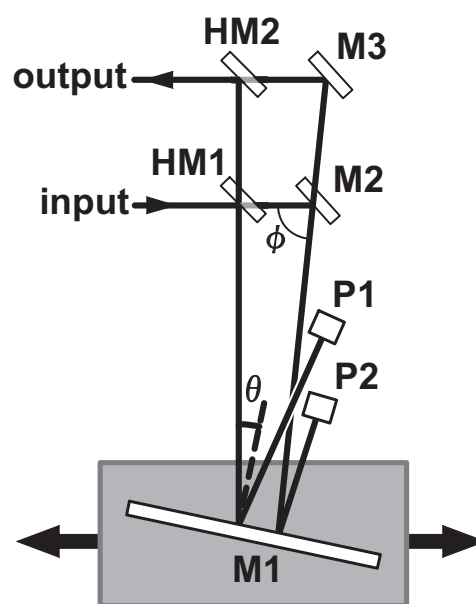


Fig.1. 光学配置

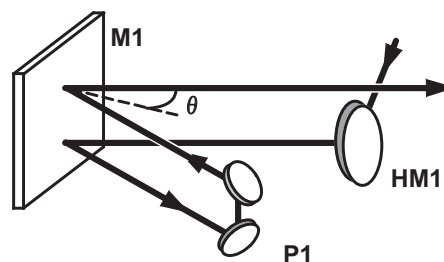


Fig.2. 光学配置の鳥瞰図

にはレーザーポインター (KOKUYO, 波長 532 nm) を用いた。Fig.1 の input からレーザー光を入れ、output から出てきた光をフォトディテクターで検出した。測定結果を Fig.3 に示す。測定プログラムの都合上、ステージ移動の間隔は 3 μm である。図より、レーザーポインターの一波長分である 532 nm が 110 個の点で掃引されている。この結果は、3 μm のステージ移動で 4.8 nm の光路長差の変化が得られていることを意味する。最小の 1 μm ステップでステージを移動させれば、5.3 as での時間掃引が可能である。設定した角度における時間ステップは(1)式より約 4.4as になるはずであるが、この理論値と測定値の差は角度設定の際の誤差によるものと考えられる。しかし、実際の時間ステップは、Fig.3 に示したように CW レーザー光を用いたインターフェログラムで検量できるので実用上の問題は無いと考えている。

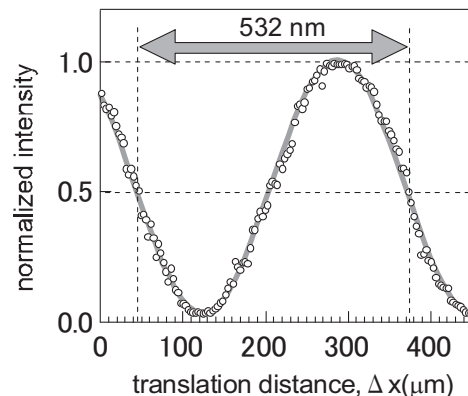


Fig.3. レーザー光(532 nm)のインターフェログラム

この光学遅延回路と分光器を組み合わせると、位相構造が不明の試料光と位相構造の分かっている参照光との相関を周波数分解して測定すれば、試料光の位相スペクトルを直接測定することができる。まずは最も簡単な例として、入力としてフェムト秒パルスを用いて、遅延時間を変えて出力のスペクトルを測定した結果を Fig.4 に示す。ステージを 3 μm 間隔で移動させると、遅延時間が零のときに 800 nm に見えていた 1 本のピークが弱くなり、二つのピークが見えるようになる。さらにステージを動かしていくと、弱くなったピークが強くなるのが観測され、遅延時間が零の状態に戻る。等間隔のステージ移動でありながら、スペクトル形状の変化の具合が一様ではない理由として、ステージの機械的な遊びなどが原因であると考えられる。以上の結果から、この光学遅延回路を用いることで位相スペクトルの測定そしてパルス波形の解析が出来ると考えられる。今後は、ステージによる誤差の改善、位相スペクトルの測定を試みることなどを計画している。

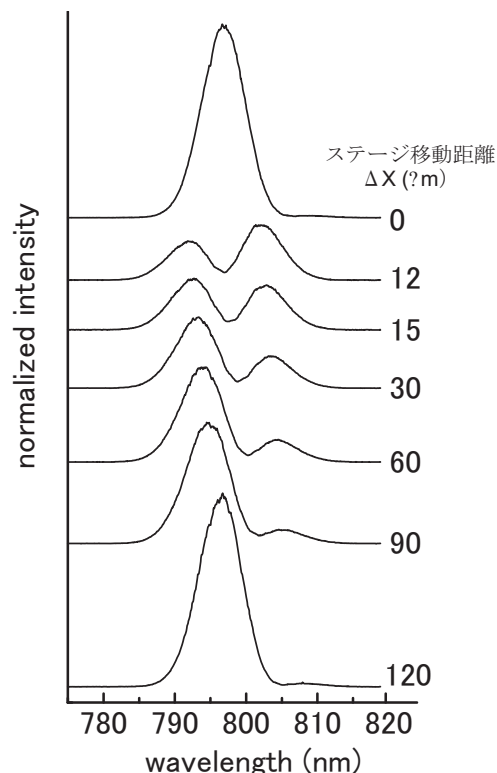


Fig.4. 干渉スペクトルの遅延時間依存性

[参考文献]

- 1) S. Matsuo and T. Tahara., *Chem. Phys. Lett.*, **264**, 636 (1997).
- 2) K. Ohmori, *et al.*, *J. Photochem. Photophys. A*, **145**, 17 (2001).