

ダブルスリットを用いたコヒーレント過渡現象の観測

西岡研究室 大和 隆史

1 はじめに

超高速測定を行う上で重要なのはコヒーレンス長であるが、これはフーリエ変換の関係($\Delta t \sim 1/\Delta \nu$)から、スペクトル幅を広げることによって向上させることができることがわかっている。今もっとも広帯域な光源であるコヒーレント白色光は、波長帯域 150-1700nm、周波数幅 $\Delta \nu = 1.6\text{PHz}$ の出力が可能であり、この光から得られる光パルスのコヒーレンス長は $\Delta t = 0.2\text{fs}$ である。しかしこの光を使用した場合、マイケルソン型相関計など従来の相関計では、ミラーやビームスプリッターなどの光学素子によって情報量の多い短波長域が吸収され、 $\Delta \nu$ は大幅に狭まってしまう。このため、結果的に光の持つ時間分解能を有効に生かすことができない。そこで、光学素子をまったく必要としない相関計測方法として、ヤングの実験を応用した相関計を考案した。

2 原理

この相関計の元になる原理は、ヤングのダブルスリット干渉実験そのものである(図1)。点光源から発した空間コヒーレンスのある光をダブルスリットに通すと、干渉が起こるといえるものである。ダブルスリットによる位相差 $S_2 - S_1$ を時間遅延と見ること、時間遅延を与えた時の変化を1度に見ることができる。

ダブルスリット干渉は、スリットを通った回折どうしの干渉であるが、この回折光の回折角 θ と、干渉縞の間隔 y はそれぞれ、

$$\Delta q = \frac{1}{d} \quad , \quad y = \frac{L\lambda}{D}$$

で与えられる。ここで d は1つのスリットの幅、 L はスリットからスクリーンまでの距離、 D はダブルスリットのスリット同士の間隔である。

干渉縞の間隔 y を大きくするには、 L または λ を大きく、あるいは D を小さくする、のいずれかの方法がある。 L は実験設備の大きさ、 λ は光源と検出器

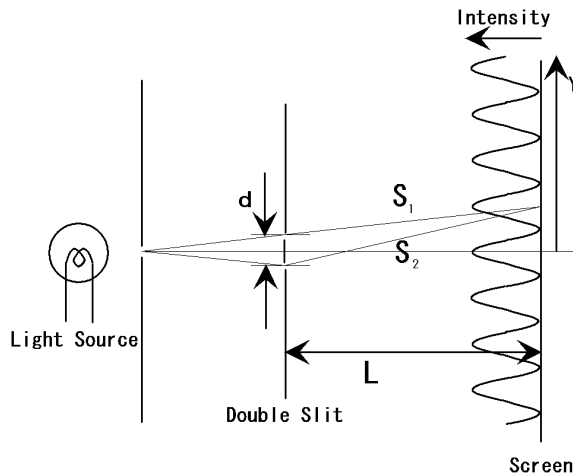


図1 ヤングの干渉実験

の性能、D は用意できるスリットにより決定し、各々の組み合わせにより目的に合わせて自由に相関計の設計を行うことが可能である。

3 装置設計

光源には、白色コヒーレント光またはハロゲンランプによる白色光源を用いた。これをダブルスリットに通し、1m 遠方に設定したスクリーンで干渉させた。スクリーン上で帯域 200-1000nm のポリクロメータを走査させることで、時間遅延、波長、強度の 3 次元を 1 回の測定で計測可能である。

スリットの幅 d は $125\ \mu\text{m}$ 、スリット - スクリーン間距離は装置全体の大きさから $L=1\text{m}$ とした。この時に、使用した測定器の帯域である 200nm-1000nm の全帯域が干渉し尚且つ測定できるよう、スリット間隔 D は $750\ \mu\text{m}$ とした。

さらに、この距離における波長 200nm の干渉縞の間隔は約 $267\ \mu\text{m}$ であるが、検出器の入射口径が 1mm であったため、幅 $125\ \mu\text{m}$ のシングルスリットあるいは径 $100\ \mu\text{m}$ のピンホールを検出器の入射面にかぶせて使うことで短波長域の干渉縞の測定を可能にした。スリットとピンホールは光源の光量によって使い分けた。ダブルスリットは、幅 $125\ \mu\text{m}$ 、長さ 2mm のスリットを $750\ \mu\text{m}$ の間隔で配置したものを使用した。

相関計測においては、相関させる 2 つの波の位相が揃っている必要がある。そのため、インコヒーレントな白色光源を使って計測する場合は、入射光の空間コヒーレンスの向上を図った。もととなる光源のスポット径を小さくするためにファイバーのコア径はなるべく小さいものが必要であるが、コア径が小さすぎると光量が足りなくなるので、この両条件を満たすものを選択した。また白色光はマイケルソン型相関計と同様平行光でなければならないので、ビームを広げて中央のコヒーレンスの良い部分を入射光として使っている。

4 測定結果

ダブルスリットにコヒーレント白色光を当てたものが図 2 である。空間距離 2cm のスクリーン上に、光路差 $18\ \mu\text{m}$ (時間遅延 60fs) のコヒーレント過渡現象を示している。この計測で得られた時間分解能は、4.4fs であった。スクリーン上で 2cm 走査する間に 800 個のデータを計測しているため、計測ステップは光学距離に換算して 22.4nm、時間領域では 75as に相当する。

ダブルスリットの片側にスライドガラスを挿入して測定したものが図 3 である。屈折率による位相遅れによって、干渉縞が大きく傾いているのがわかる。グラフからは、屈折率 $n=1.55$ が得られた。この試料の屈折率は、カタログ値から 1.52 が得られているが、それに準じた値となった。誤差の原因は屈折率分散を考慮に入れていないことが最大の要因であると考えられる。ほかに光路長であるガラスの厚さ測定や、データ解析を紙面上で作図により行ったことなどが挙げられる。

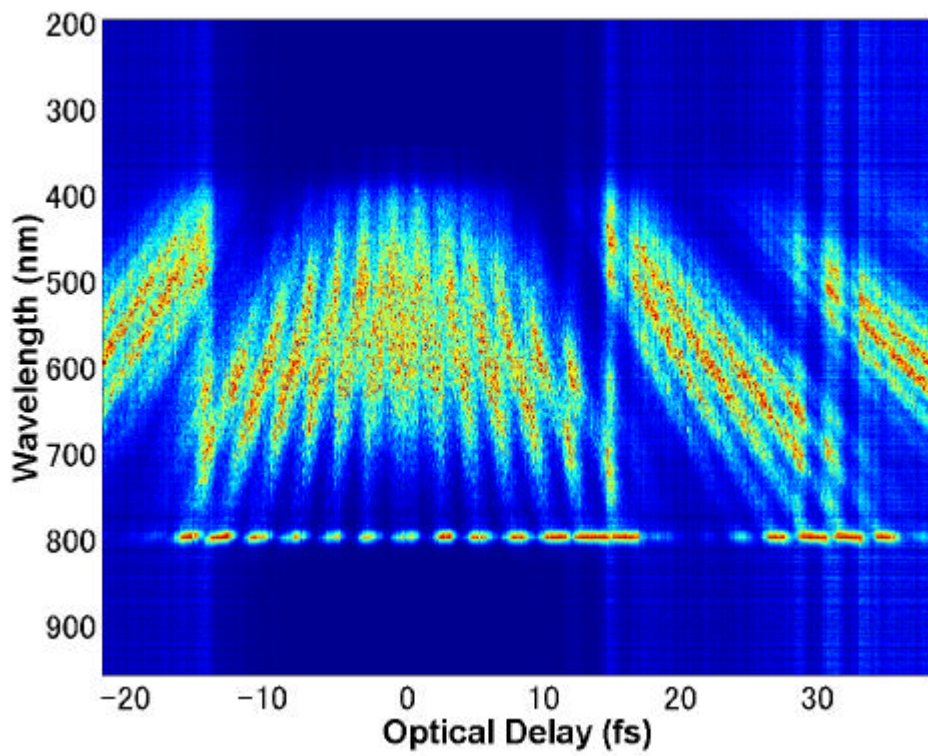


図2 ダブルスリットによる干渉縞

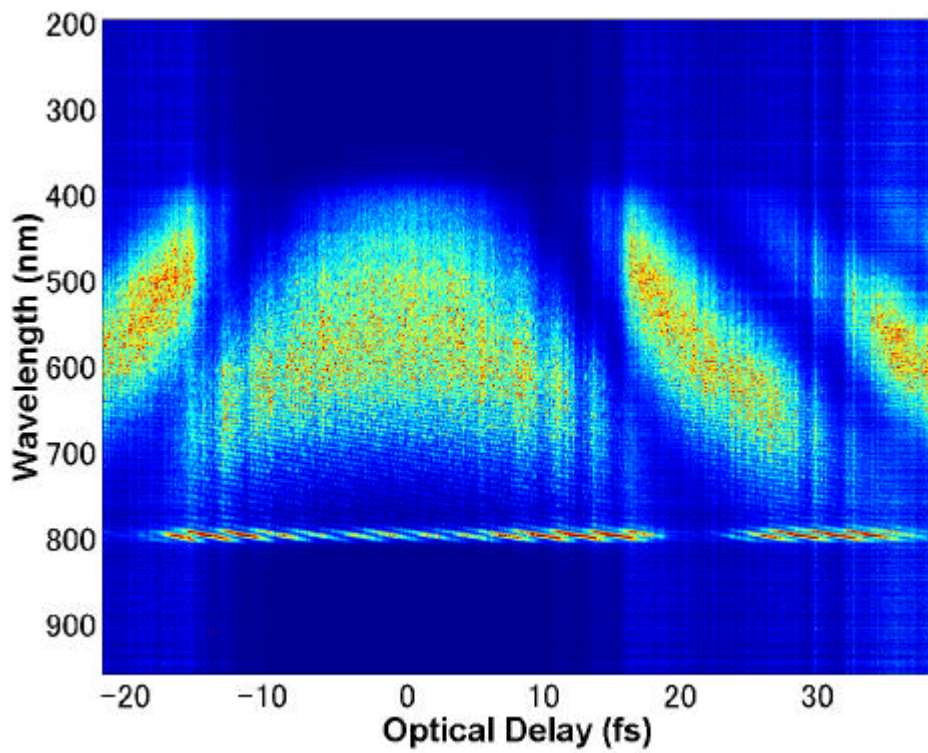


図3 試料にスライドガラスを入れた例

5 ダブルスリット相関計測の応用

超高速時間分解計測は、色素・高分子など高速で緩和する試料の計測に適している。そこでレーザー色素の一つであるローダミン 6G の過渡現象を計測する方法を考える。

ダブルスリットからの出力光のうち、励起光のみを色素に当てるため、マイクロスライドチューブを使用した。マイクロスライドチューブとは縦横 $0.02 \times 0.2\text{mm}$ 長さ 5cm の直方体の管である。この中に、 1mol/l のローダミンアルコール溶液を封入した。また光路長をそろえるために、参照光もアルコールを封入したチューブを通過するようにした。

以上の方法は、光路長の一致が満たされず未だ成功にいたってない。また短波長域におけるスライドチューブの吸収が無視できず、相関計の利点を殺してしまうので、これに変わる方法も検討している。

6 まとめ

ダブルスリットを用いた相関計によって、非常に単純な装置でありながら 4.4fs という高速な相関計測を行うことができた。本装置は光学素子を用いないため非常に低コストであるが、マイケルソン型相関計に匹敵する分解能を得ることが可能である。また、マイケルソン相関計では可動腕で与えられる計測ステップ（最小の時間遅延）を、本装置ではスクリーン上に拡大するため、非常に小さな値に設定できるなど、さまざまな利点がある。

超高速現象を測定するにはまだ改良の余地が多いが、現在の相関計測では不可能な領域での可能性を持った装置であると言える。