

アクティブ回折格子による光コヒーレンスの制御

電子工学科 西岡研究室 椴谷晃平

1. 序論

増幅媒質内に光干渉を起こし形成する体積ホログラフィック回折格子のことを我々はアクティブ回折格子と呼んでいる。アクティブ回折格子の利点は 100%を超える回折効率を実現でき、リアルタイムに設計された形状の回折格子を形成することもできる。任意に格子定数、ブレイズ角などの特性を決められるだけではなく、複数の回折格子を重畳して形成することもできる。増幅媒質にはチタンサファイア結晶を使用する代わりに帯域幅が広く、高利得で扱いやすい色素溶液を使用することにした。増幅媒質により回折光の振幅は利得による位相シフトと増幅により大きくなる。色素溶液中に干渉縞を書くことを光制御に利用した前例としてDFDL(distributed feedback dye laser: 分散帰納色素レーザー)があることも色素溶液を増幅媒質に使った理由の1つである。DFDLは波長帯域の狭帯化、波長選択のために色素溶液中に干渉縞を形成することを利用したレーザー装置である。一方アクティブ回折格子ではスペクトルの制御だけではなく、時間波形、空間パターン、指向性などの光コヒーレンスを制御することも考えられる。光コヒーレンスの制御にはアクティブ回折格子を単純な回折格子としてではなくホログラムの一種として考え、回折格子を形成するレーザー光の角度、波長などを変化することで回折光の光コヒーレンスを制御する。本研究ではアクティブ回折格子が形成できるかを確認し、100%以上の回折効率、発振光のスペクトル制御を試みる。

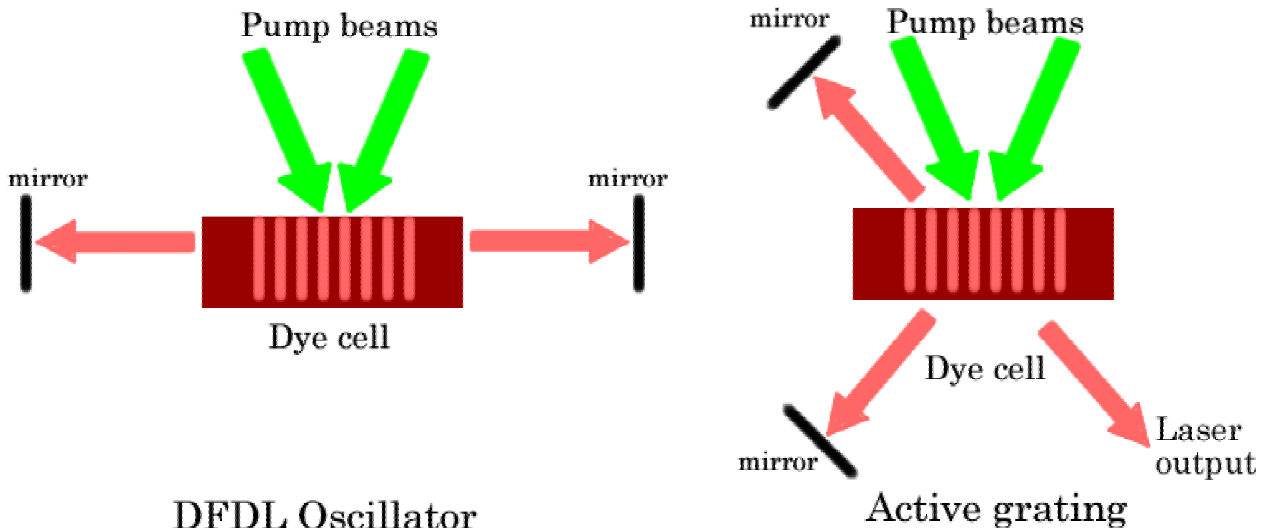


図 1 色素溶液内に回折格子を形成し光を制御する実験の概略図

左：DFDL 共振器 (反射型回折格子)

右：今回の実験の例：回折格子を含んだ共振器 (透過型回折格子)

2. アクティブ回折格子による光コヒーレンスの制御

アクティブ回折格子は体積ホログラフィック回折格子なのでブラッグ条件に合った角度、波長で回折が起きる。励起光の波長 λ_{pump} と入射角 α で格子定数 Λ が決まり、それによって回折角 β 、波長 λ_{sig} が決まり、その式は次式になる。

$$\frac{\lambda_{pump}}{2 \sin \alpha} = \Lambda = \frac{\lambda_{sig}}{2 \sin \beta} \quad (1)$$

つまり励起光の入射角や波長を制御することによって回折の波長と角度を変化させることもできる。

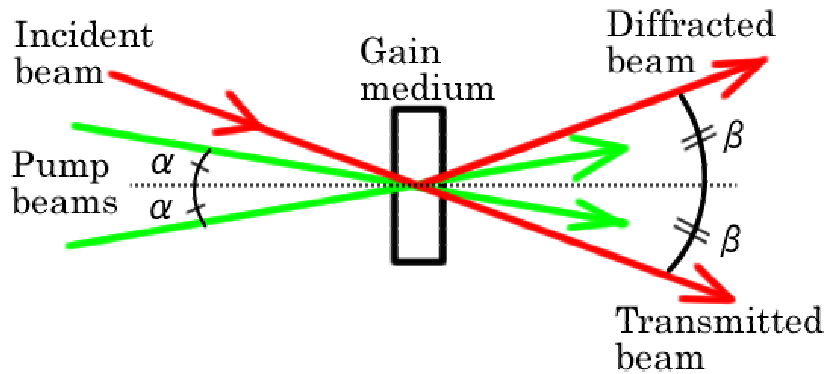


図 2 励起光と発振光の関係

3. 色素溶液によるアクティブ回折格子

色素には Pyridine4 を使用し、Nd:YAG レーザーの第 2 高調波 532nm で励起すると 770nm 付近の発振光が得られた。最も強く広帯域で発振した色素セルの厚さ 2mm、濃度が OD 4 の状態で以後の実験を行った。実験装置を図 3 のように組むとその発振光をアクティブ回折格子によって回折させることができた。

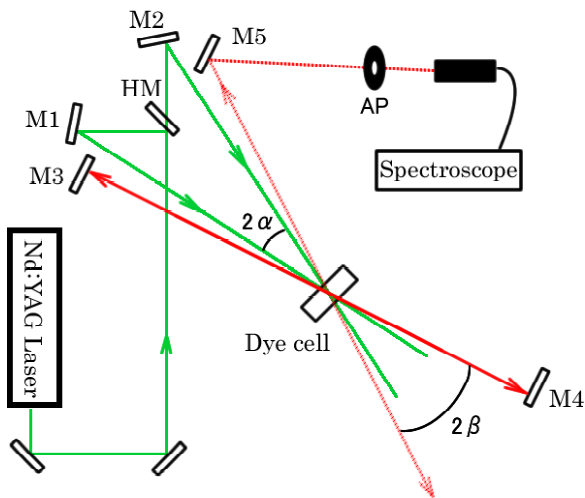


図 3 回折角と波長の測定 (M3,M4 が共振器鏡)

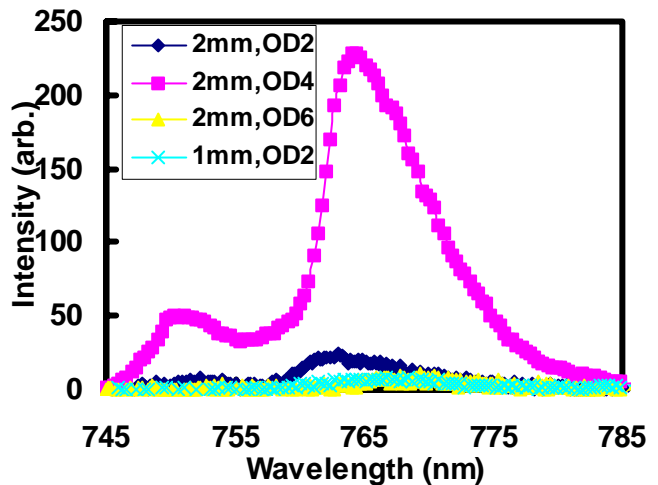


図 4 色素レーザーの発振スペクトル

励起光の波長を 532nm、入射角を 11.9 度にすると発振スペクトルは回折角ごとに図 5 のように得られた。スペクトルは波長 761~781nm の間で変化し、その回折角と波長は式(1)と一致した。回折角を変化させると急激に強度が下がるのは回折がブラッグ条件にしたがっているからで、最も強い強度を示したのは発振光の入射角と回折角が同じときである。

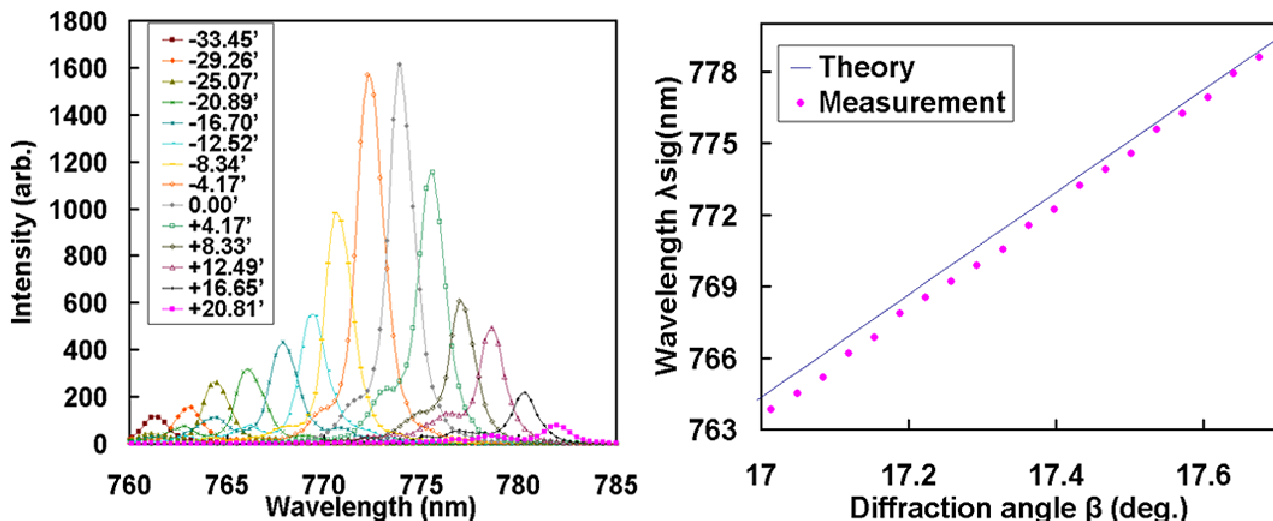


図 5 回折角によるスペクトル変化

左：測定スペクトル 右：回折角 と波長 λ_{sig} の関係

次にアクティブ回折格子で 100%を超える回折効率を実現できるかを確認するために図 6 のように回折格子を含んだ共振器を組んだ。この状態で発振すればアクティブ回折格子の回折によって光が増幅していることなので、回折効率が 100%を超えていると言える。そして実際に発振光を確認することもできた。図 5 では測定角度によってスペクトル変化が見られたが、図 7 では変化しなかった。つまり狭帯化し単一の波長で発振していることが確認できた。

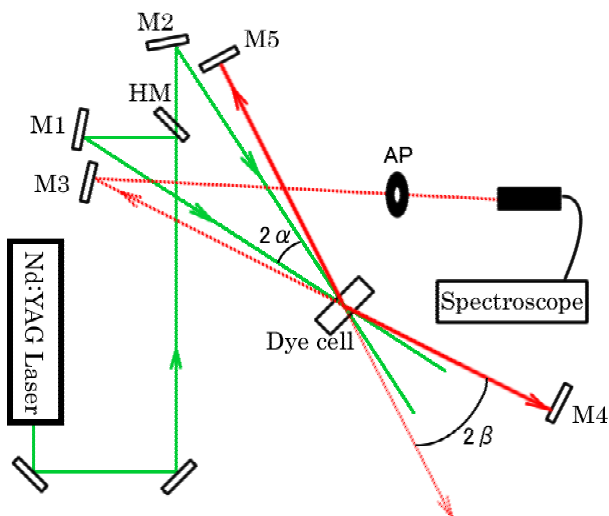


図 6 回折格子を含んだ共振器 (M4、M5 が共振器鏡)

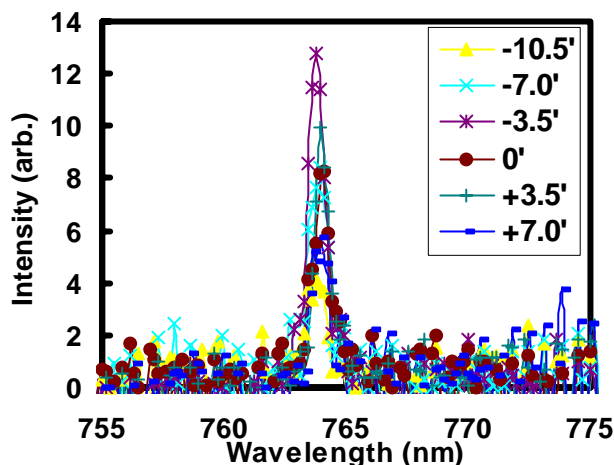


図 7 測定角度によるスペクトル変化

回折光で共振器を組むことに成功したので、次はその状態からアクティブ回折格子の格子定数を変化させてみた。共振器の位置、角度を固定した状態で励起光の入射角を変えることによって格子定数を変化させ、発振光のスペクトルを変化させることができた。762~767nm の波長範囲で波長は変化し、その範囲で 100%以上の回折効率を確認できた。その発振波長と励起光の入射角度には式(1)の関係があり、測定値と計算値を比較するとほぼ一致した。

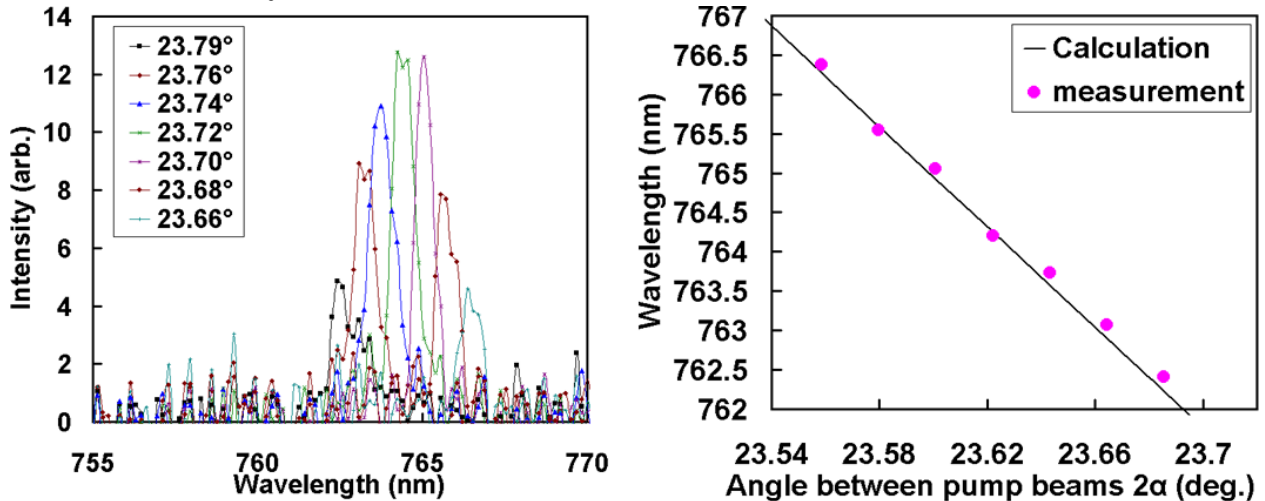


図 8 励起光の入射角 を変化させたときの発振スペクトルの変化
左：測定スペクトル 右：励起光の入射角 と波長 sig の関係

4. 結論

今回の実験ではアクティブ回折格子で 100%を超える回折効率を実現できた。設計通りの角度、波長で回折しスペクトルの狭帯化とスペクトルの制御も確認できた。今回の実験では空間(ビーム方向)、時間(スペクトル)のコヒーレンスの制御できたが、今後はアクティブ回折格子を形成するレーザー光を制御することによって、回折光の時間、空間、指向性などの光コヒーレンスを制御していくことが目的である。そうすることでレーザービームを任意の空間パターンで取り出すことや、チャープパルスの圧縮などにも応用が考えられる。

またアクティブ回折格子を形成するための増幅媒質に色素溶液を使うのではなく、チタン・サファイヤ結晶などの固体を用いることや、励起光の強度を変え干渉の明暗を小さくしてアクティブ回折格子を形成することも今後実験していきたい。