

## 論文の内容の要旨

論文題目 外部共振器ダイオードレーザーを光源としたホログラフィックデータストレージの研究

氏名 田中富士

### § 1 研究の背景

次世代光ディスクの候補として、従来とはまったく異なる記録再生原理に基づく、ホログラフィックデータストレージ(Holographic Data Storage。HDSと略す)が有力である。なぜなら、HDSの光ディスクは、同一個所に数百回記録できるため、従来の光ディスクの記録容量を大幅に超える可能性があるからである。このための光源として、外部共振器ダイオードレーザー(External Cavity Diode Laser。ECDLと略す)を開発し、HDSに適用するための検討をおこなった。

### § 2 研究の内容

#### 2.1 外部共振器ダイオードレーザー(固定波長タイプ)の開発

最初に、固定波長のLittrow型ECDLを作製した(図1参照)。シングルモードの発振原理は以下のとおりである。まずLDのマルチモード光をコリメートレンズで平行ビームにする。次にグレーティングで、このビームを0次回折光と1次回折光に分ける。このうち、0次回折光はECDLの出力光になる。1次回折光は波長

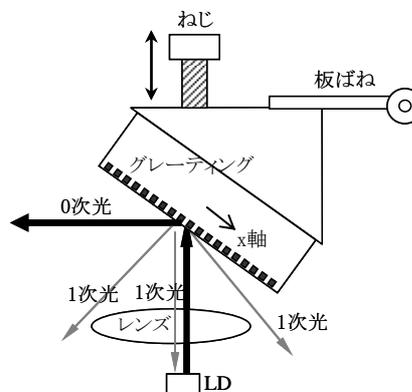


図1 シングルモード化の原理。

によって異なる方向に進むので、グレーティングの向きを調整して、そのうちの1つをLDの導波路に戻す。すると、その波長が優勢になって、LDはシングルモードで発振する。このレーザーは80mWでもシングルモードで発振することを確認した。コヒーレンス長は14mである。

ただし、このレーザーは常にシングルモードで発振するわけでは

ない。図2に示すLD電流対波長をみるとわかるように、シングルモードだけでなく、波長間隔が5pmの3波長で発振する(1,3)モードと、40pm離れた2つの(1,3)モードが共存して6波長で発振する(2,3)モードが繰り返しあらわれる。(1,3)モードは外部共振器(グレーティングと、LDの非発光側の端面による共振)のモード間の競合であり、(2,3)モードはLD導波路のモードの競合と外部共振器のモードの競合が複合したものである。これらのコヒーレンス長は同時に発振している波長の強度比で変わるが、最小値は(1,3)モードが2.9mm、(2,3)モードが0.6mmである。

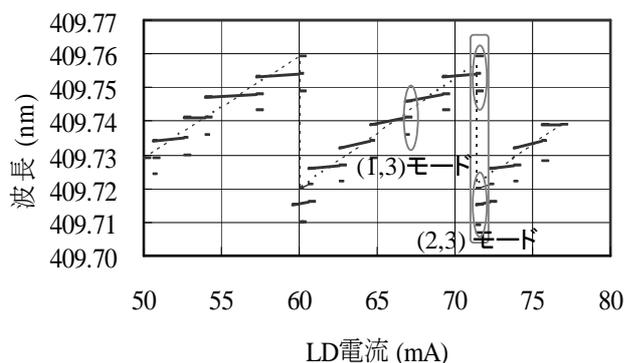


図2 LD電流 対 波長。

## 2.2 外部共振器ダイオードレーザー(固定波長タイプ)の、ホログラフィックデータストレージへの適用

### 2.2.1 2光束方式

この方式では、1つの光源から分けられた信号光と参照光が、別々の経路を通過して、メディア中で交差する。このため、その光路差がコヒーレンス長より長いと、干渉縞が不明瞭になって記録できない。前述のコヒーレンス長を考慮すると、使用する発振状態がシングルモードと(1,3)モードなら記録膜の厚さが4.3mmまで記録でき、(2,3)モードまで使用するなら厚さが0.9mmまで記録できる。

再生は、回折を利用するので記録膜の厚さには依存せず、シングルモード、(1,3)モード、(2,3)モードのいずれでも可能である。

### 2.2.2 コアキシャル方式

この方式では、反射膜のあるディスクを使用するので、透過型ホログラムと反射型ホログラムの2種類が存在する。透過型ホログラムの場合、信号光と参照光の光路差がほぼ0だから、コヒーレンス長の短い(2,3)モードでも記録できる。これに対して反射型ホログラム(信号光と参照光の進行方向がほぼ逆)の場合は、光路差が大きいため(2,3)モードでは記録できないことがある。しかし反射型ホログラムは、再生の困難なホログラムである。このため、透過型ホログラムだけを記録再生する前提ならば、(2,3)モードを使用できる。

## 2.3 外部共振器ダイオードレーザー(可変波長タイプ)の開発

続いて、ECDL(可変波長タイプ)を開発した(図3参照)。これもLittrow型であり、グレーティングの方向を調整して波長を変える。出射方向が波長によって変わるので、グレーティングにミラーを90°の角度で取り付け、光をグレーティングだけでなくミラーでも反射させて、出射光方向を固定した。

このECDL(可変波長タイプ)は、波長を管理するための波長モニターを搭載している。光の2.5%がミラーを通過して2個のディテクターを照射するので、波長(言い換えるとグレーティングの角度)を変えると、ディテクター上のビームの位置が変化する。ディテクター2個の出力を $U_1$ 、 $U_2$ とすると、 $(U_1 - U_2) / (U_1 + U_2)$ という信号によって波長を把握できる。

このレーザーは、さらにモードホップモニターも搭載している。2光束方式のHDSでは(2, 3)モードで記録すべきではないので、それを検出するためである。光路に置いた光学楔により、6個のディテクター上に干渉縞が生じる。光学楔の厚さを0.8mmにすると、(2, 3)モードでは干渉縞が不明瞭になり、シングルモードと(1, 3)モードでは明瞭になる。同時刻における6個のディテクターの出力のうち、最小値と最大値をそれぞれ $I_{min}$ 、 $I_{max}$ とすると、 $I_{min} / I_{max}$ によってモード状態を判断できる。

このレーザーの波長可変範囲は402nmから409nmまでの7nmであり、この範囲での出力は40mW以上である。平面に対する収差は $0.03\lambda$  rms以下、出射光方向の変動は0.04mrad以下を達成した。

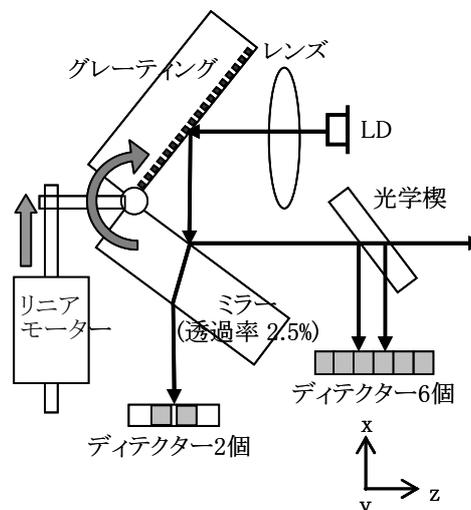


図3 ECDL(可変波長タイプ)の構造。

## 2.4 外部共振器ダイオードレーザー(可変波長タイプ)によるメディアの膨張収縮の補償

記録材料がフォトポリマーの場合、記録時と再生時で温度が2K程度ずれると、記録済みのデータを再生できなくなる。フォトポリマーの熱膨張率が、基板(ガラス、ポリカーボネート、APO等)の熱膨張率に対して1桁以上大きいので、記録した回折格子の方向も間隔も変化し、Bragg条件を満たさなくなるからである。しかし、再生照明光の波長と入射角を調節すれば20Kずれても再生できることが、我々の実験で確かめられている。

これについて2光束方式の解析計算をおこない、次のように記録再生すれば効率的に補償できることを明らかにした。(具体例として、25°Cにおいて参照光の入射角が45°で、記録時の膨張率が-0.001の場合を説明する。)

記録時は、図4、5の一点鎖線(直線)にしたがって温度に対応した波長と参照光の入射角を選択する。記録すると、直後にフォトポリマーの膨張(図4、5は記録時の膨張率が-0.001)が起きるので、この影響を考慮にいれて、再生は図5、6の実線(一点鎖線に平行な直線)にしたがって温度に

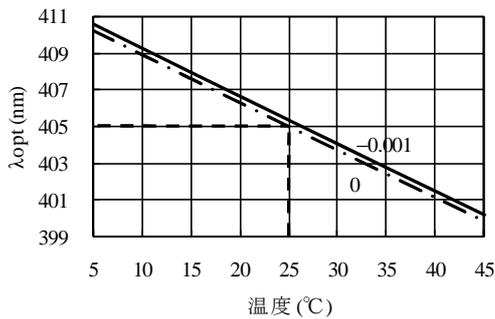


図4 温度 対 最適波長。

パラメータは記録時の膨張率

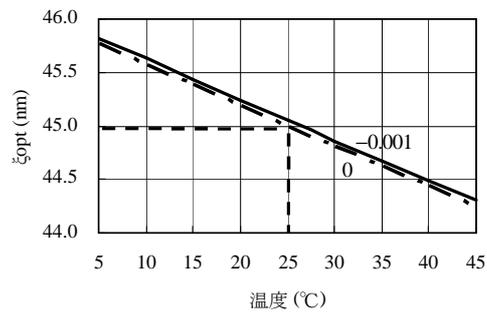


図5 温度 対 空気中の最適入射角。

(25°Cで45.0° の場合)

パラメータは記録時の膨張率

対応した再生照明光の波長と入射角を選択する。これにより、記録時の温度をデータとして残す必要がなくなり、再生時の温度だけで再生照明光の最適波長と最適入射角を決めることができる。記録時の膨張は、多重記録が進むにつれて徐々に起きるので、多重回数によってその値を変える必要がある。

解析式により、以下の結論も導いた。

- ・ 最適波長は、記録時の参照光方向には依存しない。
- ・ フォトポリマーの熱膨張率および屈折率の温度係数、基板の熱膨張率の値によっては、最適波長が一定となる条件が存在する。
- ・ その条件に近いほど、最適波長の温度依存性は小さくなる。これを反映して、基板がAP0やPCのほうが、ガラスより最適波長の変化は小さい。
- ・ 温度が変わると、撮像器上に生じる回折像の位置および倍率が変わる。このため、空間変調器の1画素を撮像器の  $m \times m$  画素 ( $m$ は整数) に対応させるピクセルマッチングは破綻する。 $m$ が整数であることを前提としないオーバーサンプリング方式の採用が必須である。

この膨張収縮補償法は、記録再生可能な温度範囲が±10Kである(基板がAP0、記録膜が1.0mmで、記録時の膨張率が-0.001の場合)。その範囲を超えると、信号光入射角対再生照明光入射角のグラフの湾曲が限界を超え(図6参照)、再生像の一部が不明瞭になるためである。

記録膜の熱膨張率が想定した値から10%ずれた場合は、記録再生可能な温度範囲は±5.5Kに減少する。

基板がガラスの場合について、温度を変えた計算結果と実験結果を比較し、最適波長および再生可能な温度の上限がほぼ一致することを確認した。

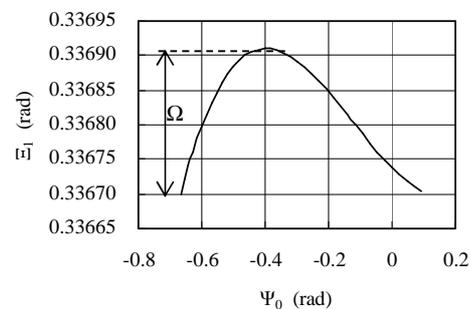


図6 信号光入射角 対 再生照明光入射角。最適な再生照明光入射角は一様ではない。