

# InGaAs 系高利得量子井戸半導体レーザーの開発及び評価測定

小松原 望

平成 31 年 1 月 4 日

## 概 要

論文の要旨を記入

# 目次

<b>第 1 章 序論</b>	<b>6</b>
1.1 研究背景	6
1.1.1 利得スイッチング	6
1.1.2 InGaAs 高利得材料??	6
1.2 本研究の目的	6
<b>第 2 章 試料構造と測定方法</b>	<b>7</b>
2.1 はじめに	7
2.2 試料作製	7
2.2.1 試料構造	7
2.2.2 ブロードコンタクトレーザー	8
2.2.3 リッジ導波路型レーザー	8
2.2.4 マウント (ダイボンディング??)	8
2.3 測定方法	9
2.3.1 定常電流注入による測定実験	9
2.3.2 電流注入利得スイッチング実験	10
<b>第 3 章 実験結果</b>	<b>12</b>
3.1 ブロードコンタクトレーザー試料に関する測定結果	12
3.1.1 3QW	12
3.1.2 10QW	13
3.1.3 電流広がりに関する考察	14
3.1.4 内部量子効率と吸収係数の計算	15
3.1.5 本節のまとめ	16
3.2 リッジ導波路型レーザーに関する実験結果	16
3.2.1 定常電流の結果	16
3.2.2 利得スイッチング動作の結果	16
3.2.3 結果の比較	16
3.2.4 付録かな??コンボリユージョンの説明, 電気パルスの確認	19
<b>第 4 章 考察</b>	<b>23</b>
4.1 はじめに	23
4.2 パルス幅と共振器長の関係 (10QW)	23
4.3 3QW と 10QW の比較	23
<b>第 5 章 まとめと展望</b>	<b>24</b>
5.1 本研究のまとめ	24
5.2 今後の展望	24

# 図 目 次

2.1	エピウエハ構造 . . . . .	6
2.2	ブロードコンタクレザー . . . . .	7
2.3	ブロードコンタクレザーめも . . . . .	7
2.4	リッジ導波路型レーザー . . . . .	8
2.5	測定デバイス外観 . . . . .	8
2.6	IL 実験系 . . . . .	9
2.7	GS 実験系 . . . . .	9
3.1	3MQW の IL 結果 . . . . .	10
3.2	3MQW の閾値電流 . . . . .	11
3.3	10MQW の IL 結果 . . . . .	11
3.4	10MQW の IL 結果 . . . . .	12
3.5	3MQW の閾値電流密度 . . . . .	13
3.6	10MQW の閾値電流密度 . . . . .	13
3.7	3QW 外部量子効率 . . . . .	14
3.8	3QW 外部量子効率の逆数 . . . . .	14
3.9	10QW 外部量子効率 . . . . .	15
3.10	10QW 外部量子効率の逆数 . . . . .	15
3.11	3MQW L=100um の利得スイッチング光パルスの時間波形 . . . . .	16
3.12	3MQW L=200um の利得スイッチング光パルスの時間波形 . . . . .	16
3.13	3MQW L=300um の利得スイッチング光パルスの時間波形 . . . . .	16
3.14	10MQW L=300um の利得スイッチング光パルスの時間波形 . . . . .	17
3.15	10MQW L=400um の利得スイッチング光パルスの時間波形 . . . . .	17
3.16	10MQW L=500um の利得スイッチング光パルスの時間波形 . . . . .	18
3.17	10MQW 利得スイッチングパルスのパルス幅 . . . . .	18
3.18	3MQW 利得スイッチングパルスのパルス幅 . . . . .	19
3.19	10MQW のスロープ . . . . .	19
3.20	10MQW の閾値電流 . . . . .	20
3.21	10MQW の閾値電流密度のパッド幅依存性 . . . . .	20

# 表 目 次

3.1	3QW ブロードコンタクトレーザーの電流広がり . . . . .	14
3.2	10QW ブロードコンタクトレーザーの電流広がり . . . . .	14

# 第1章 序論

## 1.1 研究背景

### 1.1.1 利得スイッチング

半導体レーザーは産業的に広く普及している技術である。用途は多岐にわたるが、近年では超短光パルスの光源として注目されている。その応用先としては... なものがか期待されている。

短パルスかを行うためにはいくつか方法が知られている。

### 1.1.2 InGaAs 高利得材料??

@歪み補償

## 1.2 本研究の目的

電流注入により短いパルスを達成すること？新しい構造を作ったからそれを図ること？

## 第2章 試料構造と測定方法

### 2.1 はじめに

本研究では InGaAs/GaAs 多重量子井戸・ファブリーペロー型の半導体レーザーをデザインした。本章では 2.2 節でそのエピ構造とデバイス化のためのプロセスについて、2.3 節で測定手法について述べる。

### 2.2 試料作製

本研究では活性層に InGaAs/GaAs 多重量子井戸を持つウエハをデザインした。本 2.2 節ではデザインと測定するためのデバイス化について述べる。ウエハの結晶成長は NTT-AT および台湾の会社？に依頼した。結晶成長また後述のリッジ加工プロセスやコンタクトメタル蒸着は NTT-AT に依頼した。

#### 2.2.1 試料構造

まずはエピウエハ構造について述べる。量子井戸の周期は 3 周期と 10 周期の 2 種類である。それぞれのエピ構造を図??に示す。n タイプ GaAs 基板の上にバッファ層が丸々 nm, その後 n-AlGaS がどうたらこうたら SCH 層がどうたらこうたら。バンドギャップの図があると良い屈折率とかも

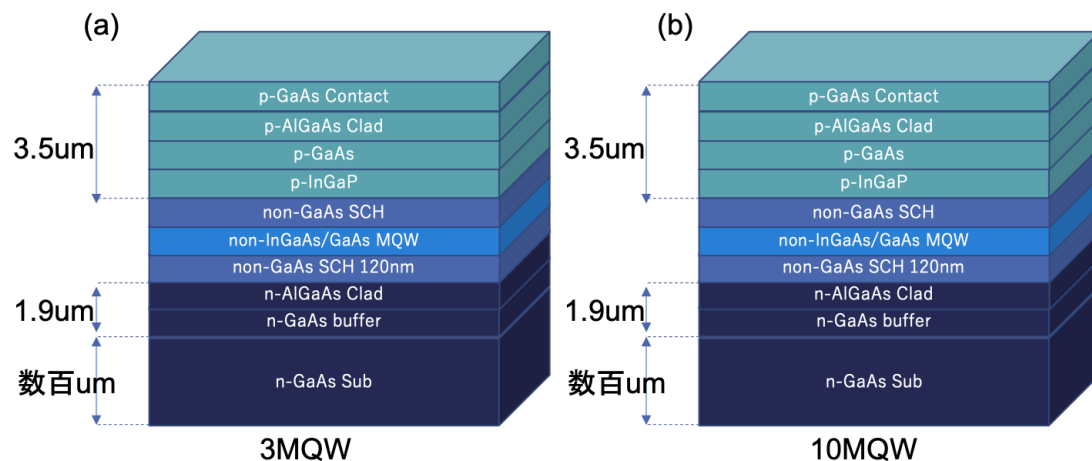


図 2.1: エピウエハ構造

### 2.2.2 ブロードコンタクトレーザー

結晶成長の後 n 側と p 側にコンタクト金属の蒸着を行った。p 側の原子はなにに、n 側はなににである。劈開面は 001?とかなんとかブロードコンタクトレーザーとは光導波路を形成せずバー (棒) のままのレーザーである。プロセスを簡略化することで早く測定を行うことを目的とした。ウエハの評価測定のために用いた。図 2.2 に模式図を示す。図 2.2 の上から下に向かって電流が流れ、活性層でキャリアの再結合が起き発光が起こる。また図の手前と奥の劈開面でファブリーペロー共振器を形成しており、反転分布となっているときに光がそこを往復することで誘導放出が起き発振し、紙面の手前と奥方向に (軸を用意した方がいいか?) この文章だと絵をバーっぽくした方がいいか?共振器長は 500,1000,2000um の 3 種類を作製した。また電極パッド幅は 3,5,10,30,50,100,300um の 6 種類を作製した。

### 2.2.3 リッジ導波路型レーザー

次にリッジ導波路型レーザーについて述べる。その模式図を図 2.4 に示す。エピウエハ作製後 p 側クラッド層を活性層直上までエッチングすることで光導波路を形成している。横方向の光閉じ込めが大きくなるため、キャリアと光の重なりが大きくなるため利得を大きく?することができる。参考文献欲しい。最終的に利得スイッチング動作を試みるデバイスである。共振器長は 100,200,300,400,500,1000um, リッジ幅は 1.5um,2.5um のものを作製した。

### 2.2.4 マウント (ダイボンディング??)

作製したブロードコンタクトレーザーバーおよびリッジ導波路型レーザーを電流注入実験を行うためにマウントを行なった。それぞれ図に示す。

レーザーバーは AlN 基板に AnSn メッキを施してあるサブマウント (... 社製) にダイボンディングした。ブロードコンタクトレーザーはダイボンディングしてなかったっけ?そういえばこの状態で試料上面の電極をプローバー (先端の径... 程度の金属の針) でさわり、電流を流した。一本のバーに 5 個程度の素子があるので測定が終わったら次々とプローバーの触る箇所をかえていけば速やかに測定を続けることができる。

一方リッジ導波路型レーザーの一部は利得スイッチング動作実験を行うために高速応答が期待できるようにマウントした。Transistor Outline パッケージと呼ばれる缶状の金属にマウントを行った。... 社製の CAN を用いた。その際レーザーバーをさらに分割し 1 つ 1 つの素子に分離した。分離した素子を AnSn 共



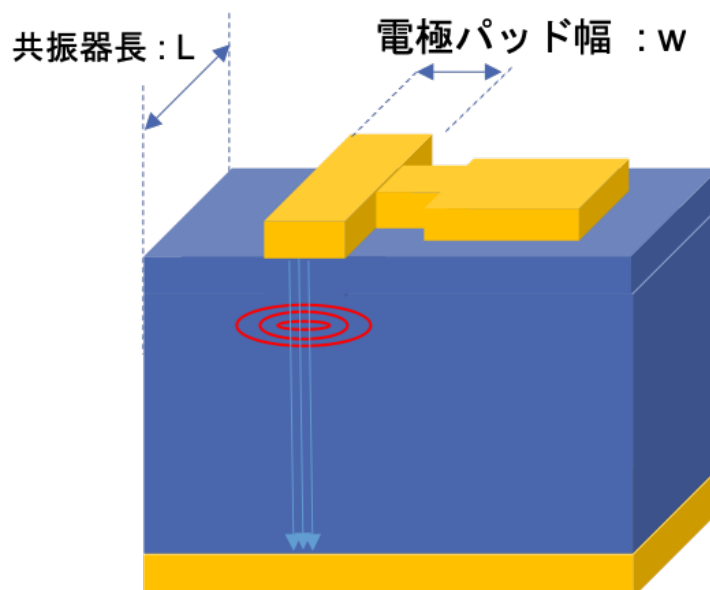


図 2.2: ブロードコンタクレーザー

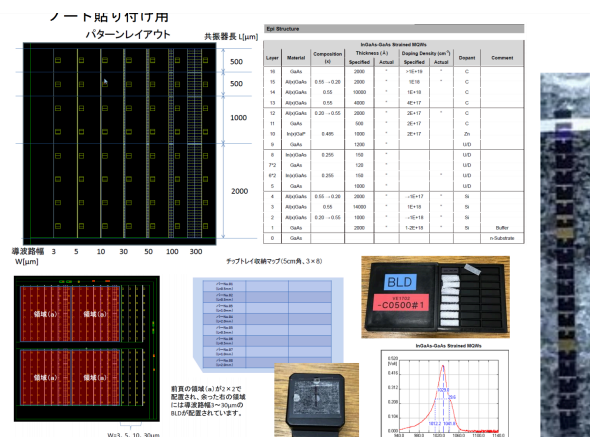


図 2.3: ブロードコンタクレーザーめも

晶材あるいはエポキシを用いて CAN にダイボンディングし、金線をワイヤーボンディングマシンで配線した。

## 2.3 測定方法

本研究ではエピウエハの品質評価のための測定と利得スイッチング動作を起こしデバイスの高速特性を評価するための測定を行った。

### 2.3.1 定常電流注入による測定実験

まずエピウエハの品質を調べるために定常電流を注入する実験を行った。発振閾値電流や発振閾値電流密度などの基本的な物性パラメータを見積もることができる。実験系を図??に示す。パルスジェネレータから数 us パルスを数 ms 周期で発生させ、試料に注入する。ここでマイクロ秒程度のパルスは試料の中で

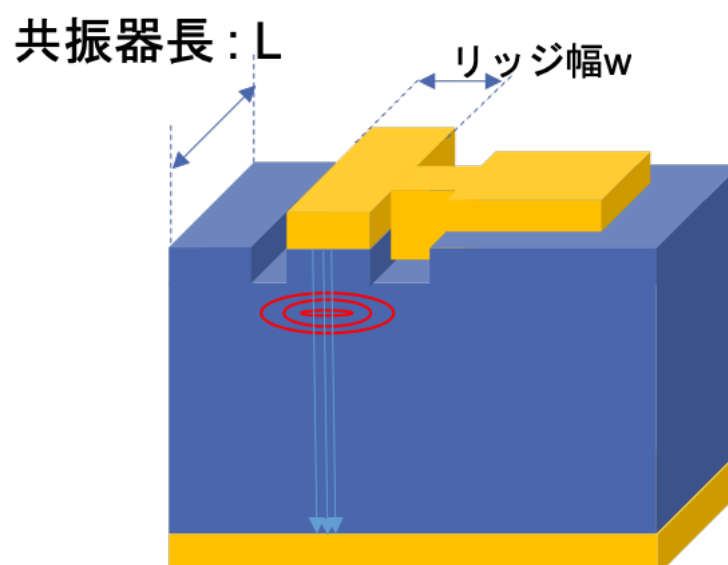


図 2.4: リッジ導波路型レーザー

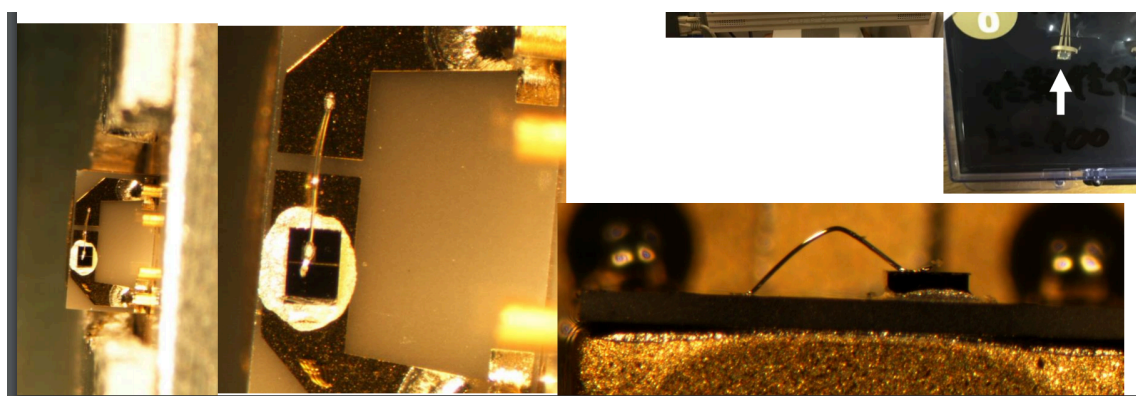


図 2.5: 測定デバイス外観

の発光過程やその他の物理現象の時間オーダーに対して十分長く、定常電流とみなすことができる。DC 電流では熱の影響が大きくなってしまい試料が壊れてしまう恐れがあるため。Duty 比 (パルス幅と繰り返し周期の比) を 1:1000 程度に設定して実験を行った。試料からの発光強度を光パワーメータで測定した。また、回路に試料と直列に抵抗 (22.4 オーム) を入れ、そこにかかる電圧をモニタすることで流れる電流量および、試料にかかる電圧を測定した。試料にかかる電圧は回路全体にかかる電圧と抵抗にかかる電圧の差を取ることで算出した。

### 2.3.2 電流注入利得スイッチング実験

ナノ秒程度の短いパルス電圧を引火することで利得スイッチング動作を起こし測定を行なった。その実験系の回路図を図 2.7 に示す。パルスジェネレータから同軸ケーブルを介して試料へ電気パルスが印加される。パルスジェネレータから生成された電圧パルスは可変抵抗、RF アンプで増幅されデバイスへと印可される。試料からの発光は対物レンズでコリメートされ、非球面レンズで光ファイバーに集光される。その後フォトダイオードで検出しその電圧を高速オシロスコープでモニタした。

PD の分解能について記述!

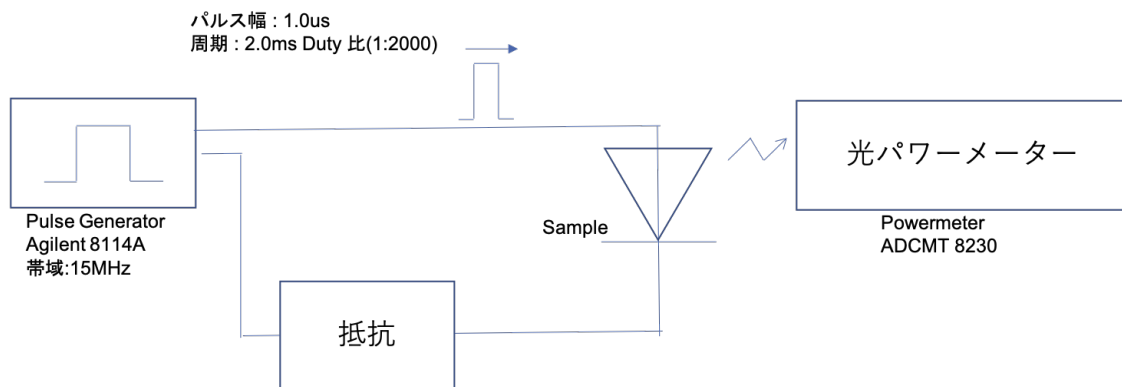


図 2.6: IL 実験系

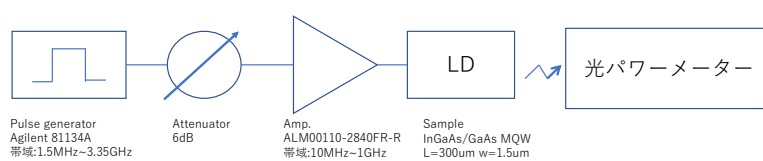


図 2.7: GS 実験系

## 第3章 実験結果

### 3.1 ブロードコンタクトレーザー試料に関する測定結果

ブロードコンタクトレーザーに関してウエハの特性を調べるために定常電流を流して測定を行なった。熱の発生を抑制するためにパルス電流を用いた。電流は...ms 秒周期、...  $\mu$ s のパルス電流を流した。 $\mu$ s 程度の電流は試料にとっては定常と見なされる。まずは定常状態の測定。発振閾値電流を測定することに加えて、発振時の印可電流の増分したいする光出力の増大から発光量子効率を見積もることが目的である。様々なパラメータを測定する。ウエハの構造ごとに節を分けている。

#### 3.1.1 3QW

図 3.1 に 3 周期量子井戸レーザーの I L カーブおよび IV カーブの結果を示す。代表としてパッド幅を  $w=50\mu\text{m}$  の物をプロットした。片面からの発光強度である。デューティー比は 1 : 2 0 0 0 である。1  $\mu\text{s}$ , 2ms 各デバイスにおいて出力強度が電流値を上げてくと増加していくことがわかる。またそれぞれのデバイスにおいて発信閾値を持つことが見て取れる。

IL カーブの発振時に対して直線フィッティングをおこない x 切片を閾値電流とした。次に様々なパッド

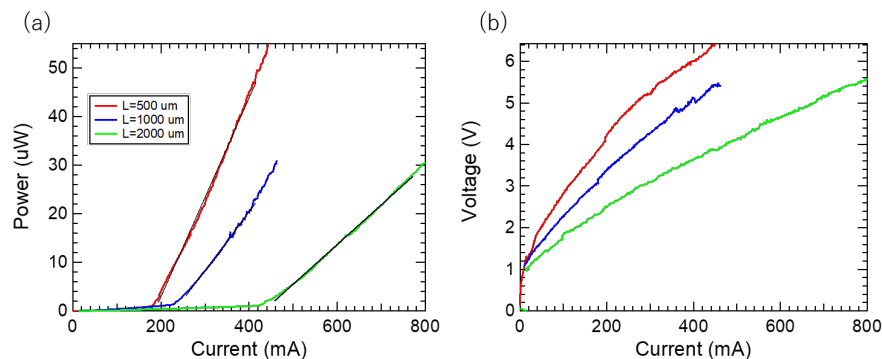


図 3.1: 3MQW の IL 結果

幅に対して実験を行いフィッティングを行なったのでその結果を図 3.2 に示す。パッド幅が大きくなるにしたがって閾値電流が線形に増大することがわかる。一方すろーぷは。。。。。

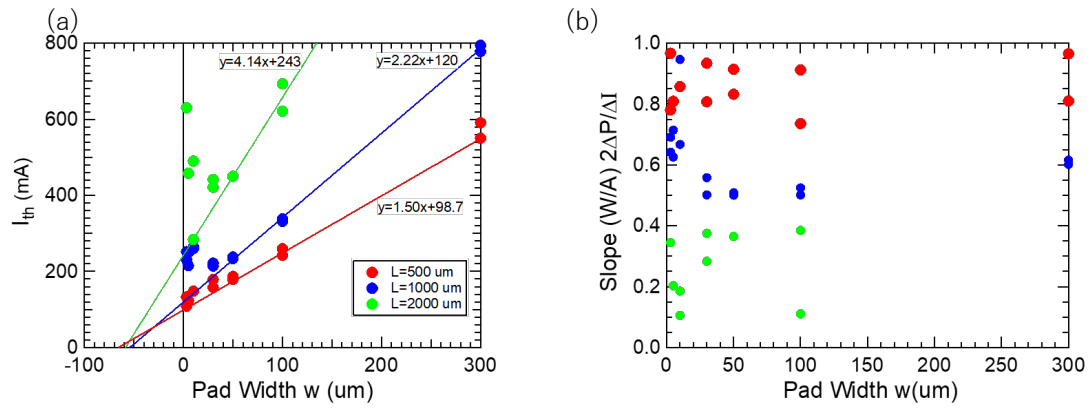


図 3.2: 3MQW の閾値電流

### 3.1.2 10QW

次に10周期量子井戸ブロードコンタクトレーザについての結果を示す。IL カーブおよびIV カーブを  $w = 50$  をだいひょうとしてしめす。いろいろは共振器ながさのちがいをあらわす。それぞれについてははっしんがかくにんできた。デューティー比は1対1000である。(2us 2ms 周期) またIL カーブの発振時の直

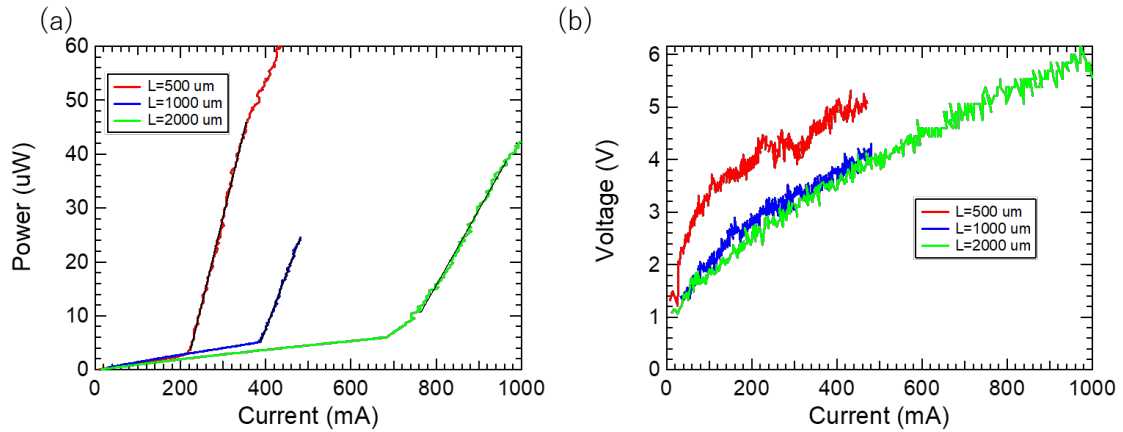


図 3.3: 10MQW の IL 結果

線フィッティング結果から閾値電流  $I_{th}$  と傾き  $dP/dI$  をプロットした。 $dP/dI$  については  $d$  デューティー比を考慮してまた両端面からの発光を算出している。

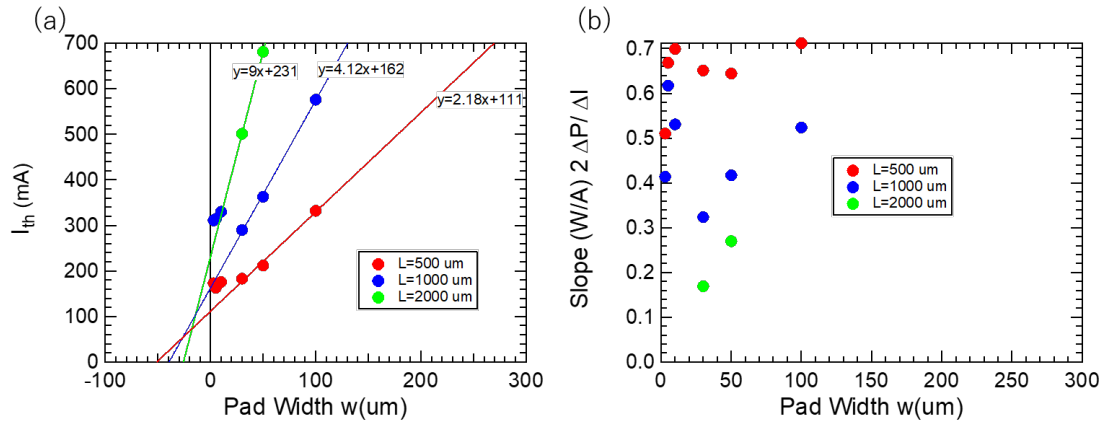


図 3.4: 10MQW の IL 結果

### 3.1.3 電流広がりに関する考察

レーザーの基本的な特性を知る上で閾値電流密度が大切なパラメータとなる。これを見積もるために先の節の結果からキャリアの広がりを見積もった。

本体閾値電流電流は電流を流す面積に比例して大きくなるはずであるが図を見るとそうっておらず赤ペンを持っている。その x 切片を含めたパッド幅を有効的な幅と考えて閾値電流密度を算出した。まずは有効パッド幅を見積もった。図 3.2 と図 3.4 それぞれの (a) において  $I_{th}$  が線形に増加する領域をフィッティングした。そのフィッティング関数の x 切片の絶対値が実質的なパッド幅の増分である。その値を表に示した。

表 3.1: 3QW ブロードコンタクトレーザーの電流広がり	
共振器長 L (um)	パッド幅の増分 (電流の広がり) w' (um)
500	65.8
1000	54.1
2000	58.7

表 3.2: 10QW ブロードコンタクトレーザーの電流広がり	
共振器長 L (um)	パッド幅の増分 (電流の広がり) w' (um)
500	51.1
1000	39.5
2000	25.7

この表の値  $w'$  と閾値電流  $I_{th}$  (mA) から式 (3.1) を用いて 閾値電流密度  $J_{th}$  (kA/cm<sup>2</sup>) を算出した。

$$J_{th} = \frac{I_{th}}{(w + w')L} \quad (3.1)$$

その結果を示す。

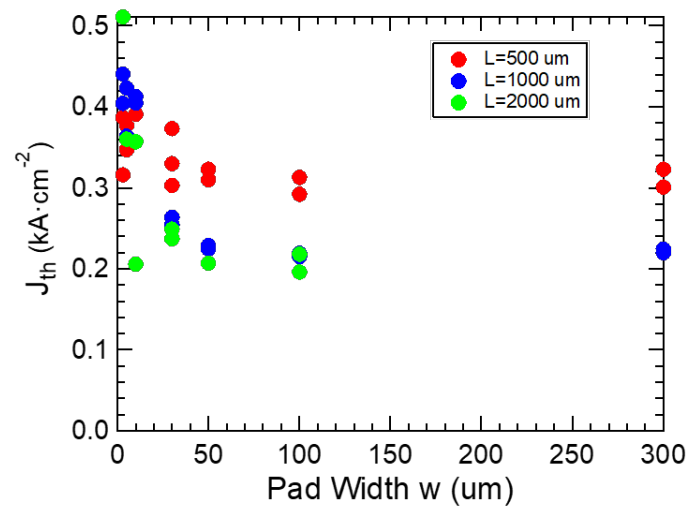


図 3.5: 3MQW の閾値電流密度

### 3.1.4 内部量子効率と吸収係数の計算

次に IL カーブの発振時の傾きに相当する外部量子効率  $\Delta P / \Delta I$  から試料の内部量子効率および吸収係数を算出した。まずは外部量子効率の計算

次に内部量子効率を見積もった代表として  $w=100\mu\text{m}$  をプロットしている。

同様の解析を 10QW についても行った。

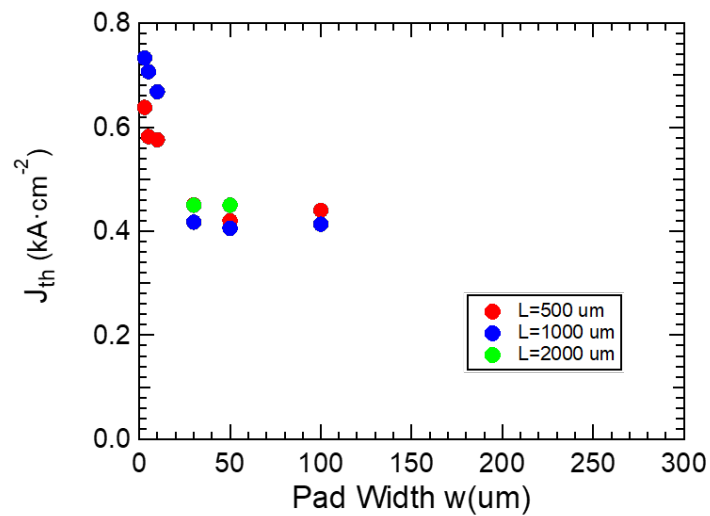


図 3.6: 10MQW の閾値電流密度

### 3.1.5 本節のまとめ

ここまででブロードコンタクトレーザを評価することにより物性パラメータを算出することができた。これらの値はレート方程式にもあらわれ？計算に用いることができる。

## 3.2 リッジ導波路型レーザに関する実験結果

次に実リッジ導波路型レーザに関する実験結果を示す。リッジ導波路型レーザはリッジを作っており、横方向の光閉じ込めを行なっている。

### 3.2.1 定常電流の結果

リッジ導波路型レーザに関して電流注入利得スイッチング実験を行った。その時の光出力の時間はけいを示す。励起時間は

### 3.2.2 利得スイッチング動作の結果

3QW

L=100,200,300

10QW

L=300,400,500

### 3.2.3 結果の比較

FWHM でコンボリューションした物をまとめた。



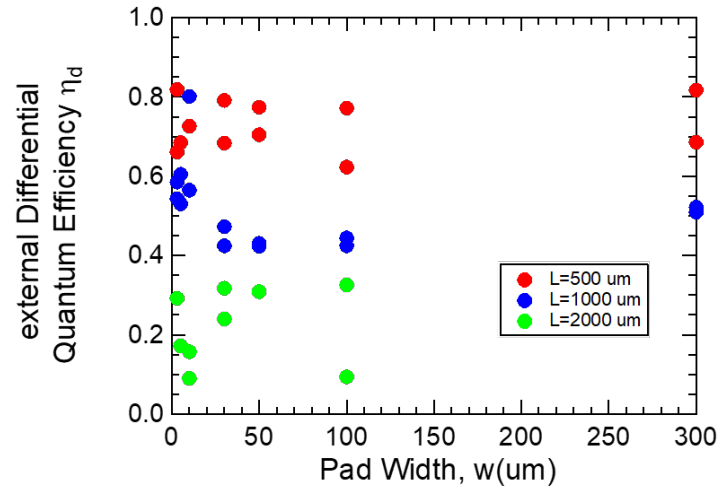


図 3.7: 3QW 外部量子効率

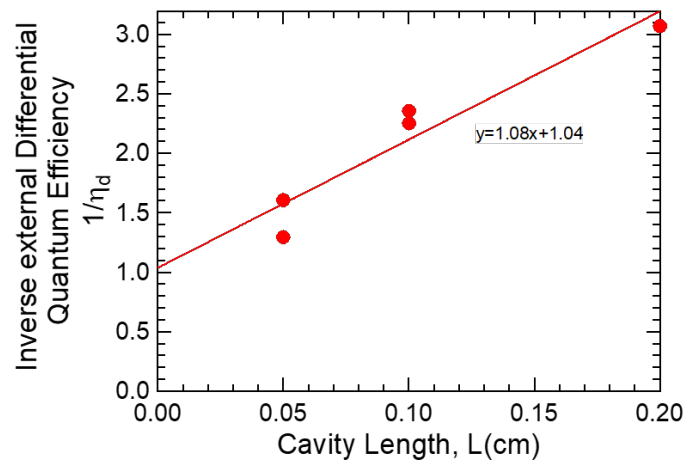


図 3.8: 3QW 外部量子効率の逆数

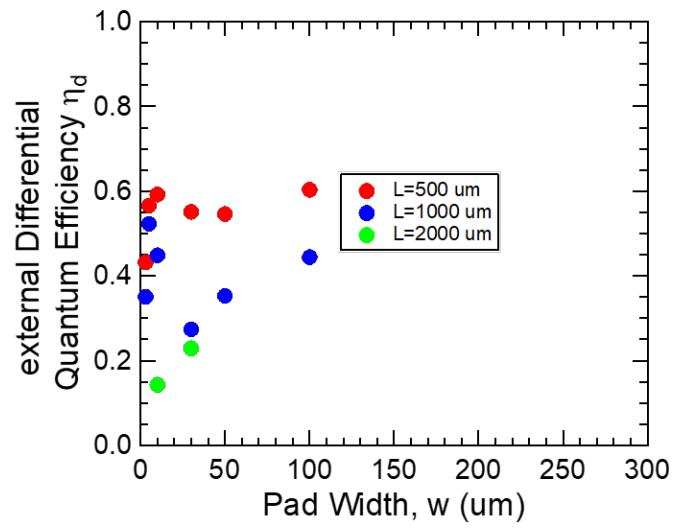


図 3.9: 10QW 外部量子効率の逆数

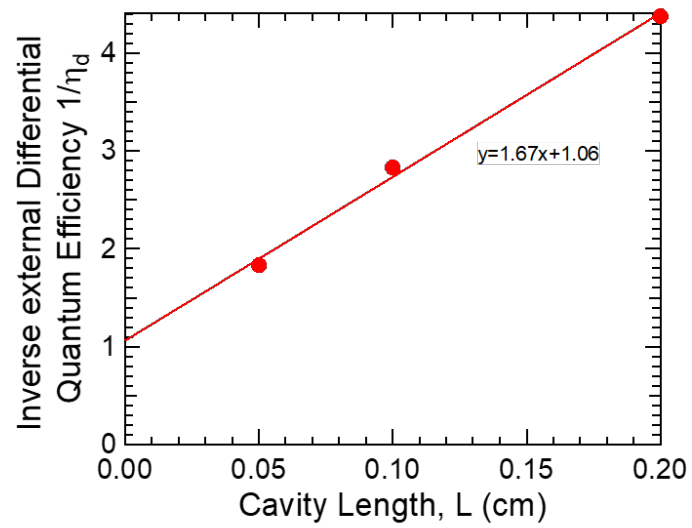


図 3.10: 10QW 外部量子効率の逆数

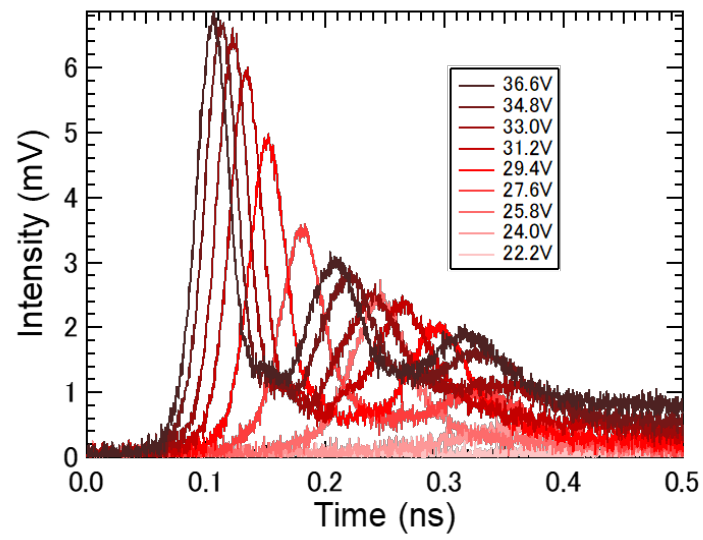


図 3.11: 10MQW L=300um の利得スイッチング光パルスの時間波形

#### 3.2.4 付録かな??コンボリューションの説明, 電気パルスの確認

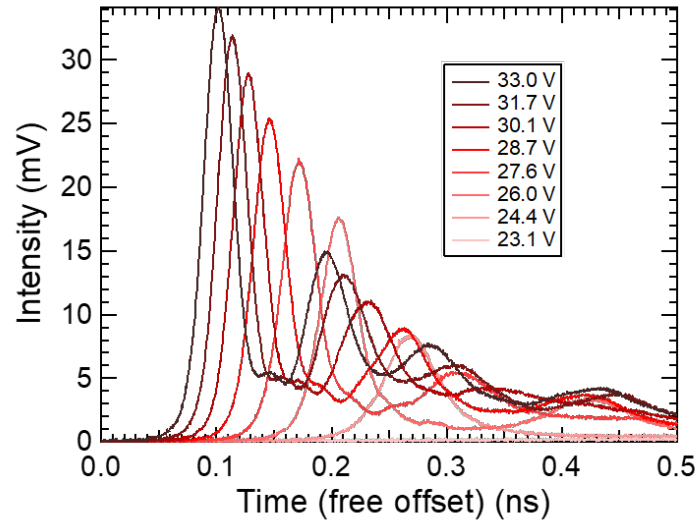


図 3.12: 10MQW L=400um の利得スイッチング光パルスの時間波形

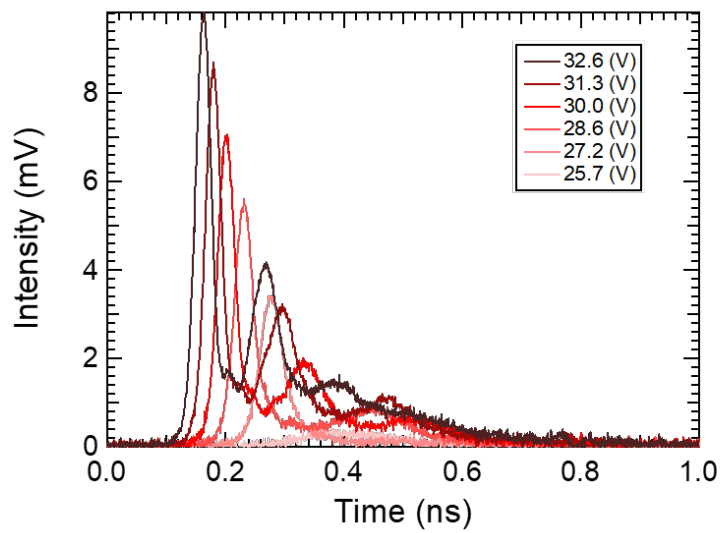


図 3.13: 10MQW L=500um の利得スイッチング光パルスの時間波形

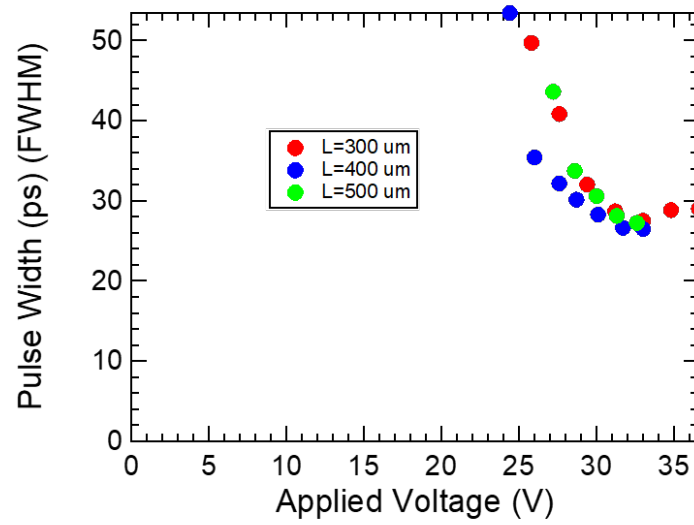


図 3.14: 10MQW 利得スイッチングパルスのパルス幅

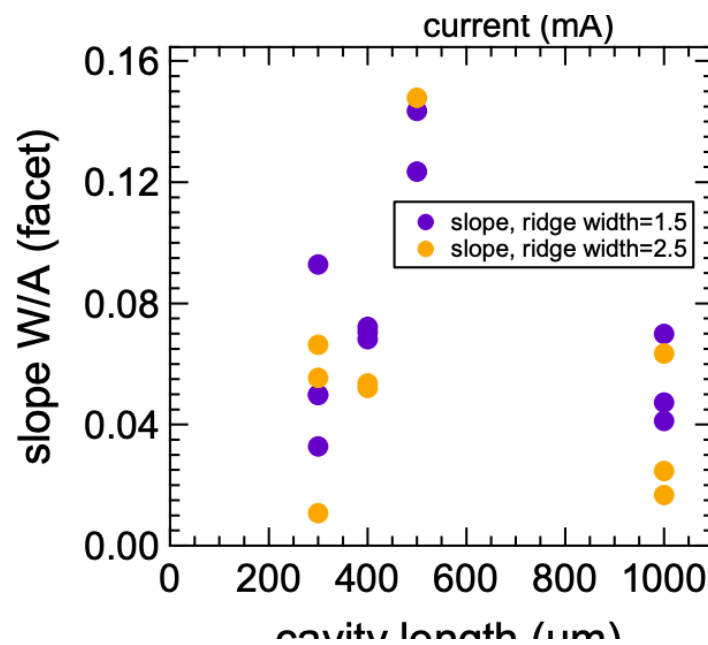


図 3.15: 10MQW のスロープ

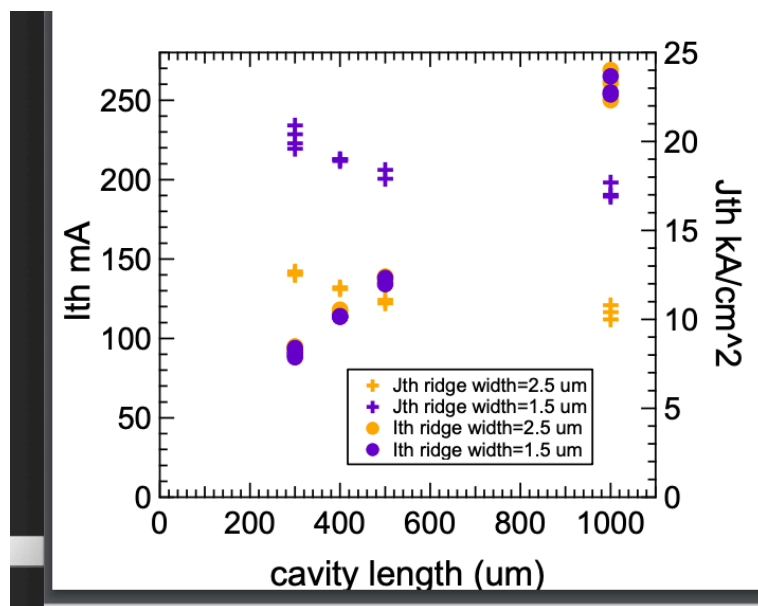


図 3.16: 10MQW の閾値電流

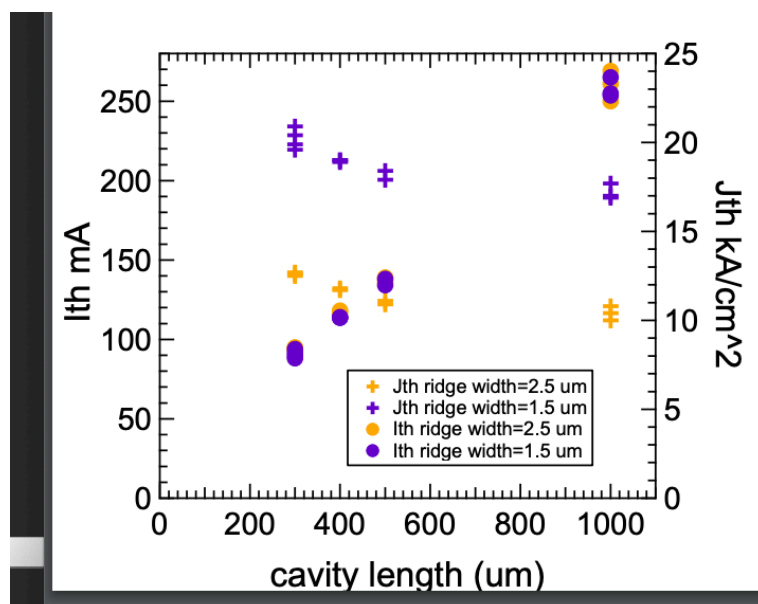


図 3.17: 10MQW の閾値電流密度のパッド幅依存性

## 第4章 考察

### 4.1 はじめに

### 4.2 パルス幅と共振器長の関係 (10QW)

### 4.3 3QW と 10QW の比較

閾値の何倍で飽和しているため利得スイッチングの速さの限界が異なる？

実験での電圧から単位体積あたりの励起強度つまり励起キャリア密度を見積もった？

## 第5章 まとめと展望

### 5.1 本研究のまとめ

### 5.2 今後の展望

あいう<sub>r</sub>を



## 関連図書

[1] reference

[2] reference

[3] reference

謝辞