



| | |
|--------------|---|
| Title | 鉛・錫・テルル波長可変赤外半導体レーザーの研究 |
| Author(s) | 篠原, 宏爾 |
| Citation | 大阪大学, 1983, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/33547 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

| | |
|---------|---|
| 氏名・(本籍) | 篠原宏爾 |
| 学位の種類 | 工学博士 |
| 学位記番号 | 第 5956 号 |
| 学位授与の日付 | 昭和 58 年 3 月 17 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 5 条第 2 項該当 |
| 学位論文題目 | 鉛・錫・テルル波長可変赤外半導体レーザーの研究 |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 成田信一郎 (副査) 教授 中村伝 教授 藤田英一 教授 久米昭一 教授 邑瀬和生 |

論文内容の要旨

本論文は波長可変赤外レーザを実用的なデバイスにするための素子設計、およびその設計に基づく素子試作に関する研究をまとめたものである。七章よりなる。

6 ミクロンから 30 ミクロンの赤外領域の光源である鉛・錫・テルル レーザはその光源としての優秀性は大いに注目されたが、実用化には多くの難問があった。まず第一にレーザ素子がわずかの動作で劣化する点、第二に 77 K 以上で動作する発振波長 10 ミクロン以上の長波長レーザができるない点、第三にレーザの出力が理論限界から程遠く低効率である点である。

本研究はこれらの問題点を検討し、そしてこれを克服した新しいレーザ素子を設計する事を目的として行なった。

第一章では鉛・錫・テルルレーザの開発の経緯を述べ、本論文の位置付けを行なった。

第二章では、鉛・錫・テルルレーザを 77 K 以上の温度で連続動作するために必須のダブルヘテロ接合を液相エピタキシャル法で得る場合についてまとめた。この場合、ヘテロ界面に格子不整合に起因する結晶欠陥層がある厚みに亘って現われるが、その原因是エピタキシャル成長時に、鉛と錫が相互に拡散した結果である事を明らかにした。相互拡散を抑えた低温・短時間の新しいエピタキシャル法を提案した。この方法によって試作したレーザ素子は活性層を薄くする事ができるので光とキャリアが有効にとじこめられ、77 K で CW 発振を示した。

第三章ではレーザ開発当初の最大の問題であった劣化に関してまとめた。波長可変レーザは 77 K 或るいはそれ以下の低温動作であるが、保管は通常室温で行なわれる。極低温と室温間の熱サイクルで素子性能は著しく劣化する。この原因は絶縁に用いる弗化マグネシウム膜と、レーザ素子の間の熱膨張率

の違いにある事を明らかにした。熱サイクルによる劣化を克服した新しいレーザ素子の構造を提案し、実用に耐える素子を開発した。

第四章では発振波長10ミクロン以上の長波長レーザに関する研究をまとめた。通常の飽和溶液を用いたエピタキシャル法で長波長レーザ用のダブルヘテロ接合を得ようすると、ヘテロ界面が乱れる。この原因は鉛・錫・テルル三元相図にあり、成長時に溶液と結晶の間に飽和状態に於ても非平衡状態がおこる為であることを示した。平坦なヘテロ界面を得るために過冷却溶液を用いた成長法を提案し、 $10\mu\text{m}$ 以上の発振波長で77K以上の温度で連続発振する素子を開発した。

劣化のないレーザを開発し、 $10\mu\text{m}$ 以上の波長が得られた後に残された課題はレーザの出力向上である。第五章では鉛・錫・テルル レーザの効率の向上についてまとめた。まずレーザの内部量子効率を解析し、その理論限界を求め、現実のレーザのそれと比較した。その結果、現実のレーザは結晶欠陥等の外因原因によって効率が下がっている事を示した。鉛テルルと鉛・錫・テルルとのヘテロ界面の格子不整合に起因する結晶欠陥が非発光中心として働いているという仮説をたて、格子整合型ダブルヘテロレーザ・及び素子試作時に外因ダメージの入りにくい格子片整合型ダブルヘテロレーザを提案した。格子片整合型レーザは理論限界に近い性能が得られる事を示した。

第六章は波長可変レーザの応用例について紹介した。

第七章は得られた結果を整理した。

論文の審査結果の要旨

鉛・錫・テルル半導体レーザーは $6\mu\text{m}$ から $30\mu\text{m}$ の赤外波長帯で波長可変なレーザーになることが知られ、種々の応用が開けてきた。例えば超高分解能をもつ赤外分光の手段として、また公害ガスや、LPG貯蔵基地のガスもれの検知等である。このレーザーもダブルヘテロ構造をもつことによって性能が改善されたが実用化にあたっては多くの難問がひかえていた。これを一つ一つ解決して優秀なレーザーを作りあげたのがこの論文の内容である。

まづ第一はダブルヘテロ構造を液相エピタキシャル法で作るとき、格子不整合に起因する結晶欠陥層が広い幅で現われる。これが液体窒素温度、77Kでの発振をさまたげたが、これが錫の拡散によることをみつけて、低温短時間での新しいエピタキシャル法を提案して77Kでの連続発振を可能にした。

また、レーザーは77Kまたはそれ以下の低温で動作させるが、低温と室温との間の熱サイクルで素子の性能が著しく劣化することが知られていた。その原因が絶縁層の弗化マグネシウムとレーザー物質間の熱膨張係数の違いによることを明らかにし、陽極酸化法による絶縁層を用いてこれを解決した。

また $10\mu\text{m}$ 以上の長波長レーザーは普通の飽和溶液によるエピタキシャル法では平坦なヘテロ界面が得られず障壁となつたが過冷却溶液にすることによってこれも解決した。

最後にレーザー効率の向上のため理論計算を行い、理論限界の量子効率を導き、これが実際のレー

ザーでは5%以下の低効率であることを見つけ、この低効率の原因がヘテロ界面の格子不整合によるこ^トと見出し、鉛・錫・テルルの他に鉛・錫・セレン化合物を用いて整合をとつて、改善したが、セレン化合物は辟開がうまくゆかず、そのため格子片整合型ダブルヘテロレーザーを提案して、その効率が理論限界の90%に近い性能が得られ、世界でももっともよい鉛・錫・テルルの波長可変赤外レーザーを得ることに成功した。また応用研究をも進めているというのがこの論文の内容である。内容には物性的見地から見ても興味深い種々の問題を含み、工学的にもまたすぐれた内容をもち、博士論文として価値あるものと考える。