

面発光レーザー作製用新型酸化装置の開発

面発光レーザー量産のためのキープロセス

～最新酸化技術～

(株)エピクエスト

禪野 由明・梅本 真哉・山本 高稔

面発光レーザー作製用新型酸化装置の開発

＝面発光レーザー量産のためのキープロセス～最新酸化技術～＝

(株)エピクエスト 禪野 由明・梅本 真哉・山本 高稔

はじめに

面発光レーザー (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, 略称VCSEL)⁽¹⁾ は、光ファイバー通信、高速光LAN、光ディスク、レーザープリンタ、光インターコネクタなど、これからの光エレクトロニクス分野において極めて重要なキーデバイスである。また、最近注目を集めている面発光レーザー作製プロセスの1つであるAlAs^(注1) 選択酸化技術は、面発光レーザーの特性向上はもちろんのこと、量産という観点において期待されているところが大きく、今後の本格的な量産化を考慮する上でのキープロセスでもある。しかし、これまで面発光レーザー作製用酸化装置は存在せず、研究者の手作りの装置やSiプロセス用の装置を代用してきており、本格的な量産化を検討する上では不十分であった。

今回、従来の欠点を克服し、量産に適した面発光レーザー作製用新型酸化装置 (VOX3001) の開発に成功した。

1. AlAs選択酸化技術

面発光レーザーのしきい値電流を下げることが、デバイスの高性能化にと

(注1) AlAs (アルミニウム砒素)

って非常に重要であるのは言うまでもないが、この問題を解決したのが、AlAs選択酸化技術である。AlAs酸化膜は、屈折率が1.55と小さいため、凸レンズのように光の集光作用が生じ、電流と光の閉じ込めにより、単一横モード動作、低しきい値動作、高効率動作を実現することが可能である。概念的な酸化狭面発光レーザーの構造図を図1に示す。

AlAs酸化プロセスについては、1978年にTsangらが、MBE装置^(注2)を用いてGaAs基板上に成長したAlAs層を酸化し、MOS型トランジスタを作製したという研究²⁾が知られている。AlAs中のAlは、酸素との結合が強く、非常

(注2) Molecular Beam Epitaxy装置

に酸化されやすい性質をもっており、大気中にAlAsを放置するだけで即座に酸化してしまう。このときできた酸化物は非常に不安定で、Alを含んだデバイスの劣化原因となっている。しかし、従来素子劣化の原因となっていたAlAsの自然酸化を400℃以上の高温で行うことで、安定した絶縁膜になることを1990年にイリノイ大学Holonyakらのグループが報告³⁾した。

面発光レーザーの作製では、GaAs基板上に形成したメサのAlAs層を横方向からAlAs層のみ選択酸化し、Al_xO_y層を形成する (図2)。

この酸化技術をはじめて面発光レーザー作製に適用したのは、イリノイ大

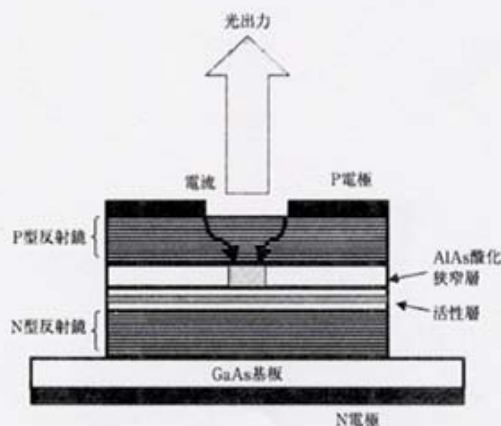


図1 酸化狭面発光レーザーの構造図

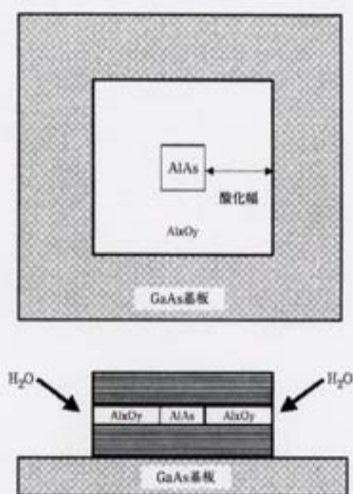


図2 GaAs基板上メサの酸化層 (AlxOy)

学の流れをくむテキサス大学のDeppeらグループであり、225 μ Aという低しきい値動作する面発光レーザーを1994年に製作した⁽⁴⁾。翌1995年に東京工業大学精密工学研究所伊賀健一教授らのグループは、70 μ Aという低しきい値動作する面発光レーザーを実現した⁽⁵⁾。

図3に従来方式酸化装置の構成を示す。レーザーウエハを成長後、エッチングによりメサを形成する。次に窒素ガスでパブリングした80℃の水蒸気雰囲気中で、サンプルを400℃以上で加熱することでAlAs層が選択的に酸化される。酸化速度はサンプル温度に依存し、酸化幅は時間で制御可能である。そして酸化時間を制御することにより、所望の電流狭窄層を作製することができる。

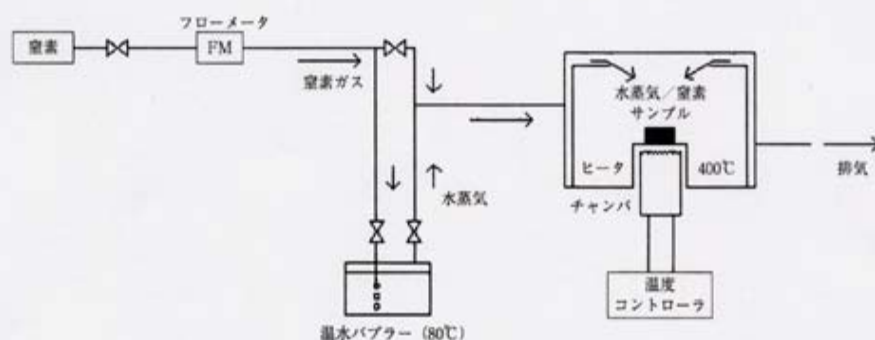


図3 従来方式酸化装置

しかし、従来の80℃程度に加熱した水を窒素ガスでパブリングする方式では、サンプルに供給する水蒸気量が安定しないため、面内均一性、再現性に乏しく、2次元アレー化、量産化を困難にしていた。そこで我々は、改良型プロト装置 (OV3001) を開発した。

2. 改良型プロト装置 (OV3001) の開発

改良型プロト装置の構成を図4に示す。水蒸気濃度の制御性、安定性を高めるため、従来の水を窒素ガスでパブリングする方式に代わり、液体マスフローコントローラと気化器を用いる方法を用いた。さらに酸化速度は、サンプル温度に極めて敏感であるのでサン

プル温度を安定にかつ均一に制御するためMOCVD装置^(注3)並に制御された温度均一性の高い基板ヒータ構造を採用した。これは、従来の酸化炉のコンセプトと大きく異なる点である。

ステンレス製チャンバの内壁は、水蒸気に

(注3) Metal Organic Chemical Vapor Deposition装置

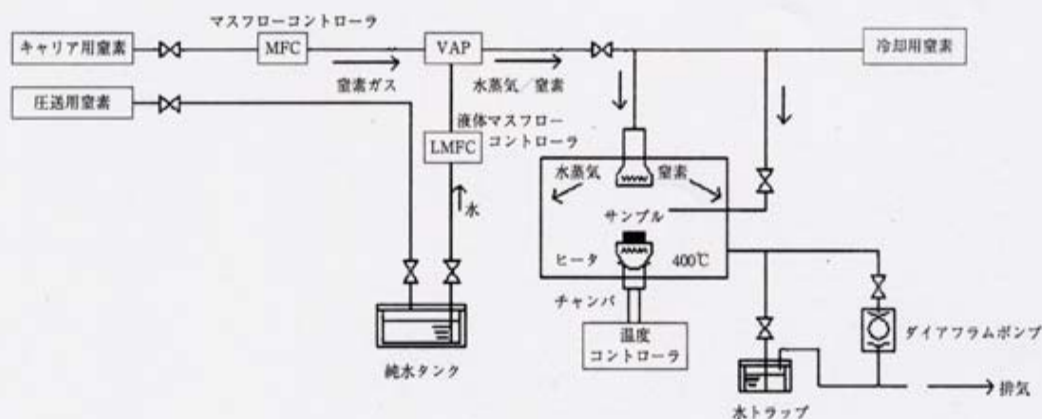


図4 改良型プロト装置構成図

よる結露を避けるためシースヒータにより、120℃に加熱されている。また、サンプルは均一性改善のため回転することが可能である。水は、液体マスフローコントローラにより、精密にコントロールされてキャリア窒素ガスとともに気化器内に導入される。また、キャリア窒素ガスは、独立したマスフローコントローラにより、精密に制御されている。気化器は180℃に加熱され、気化された水は、水蒸気となって窒素ガスとともにノズルを通して、チャンバ内のサンプル上に供給される。この方式により、水と窒素ガスの量および比率は、正確に制御できる。パブリングを用いた水蒸気の生成では、窒素ガスの流量だけがパラメータであったが、気化器の場合は水の流量、窒素ガスの流量を独立に制御できる。この2つのパラメータを変化させて酸化を行うことで極めて再現性の高い最適条件があることが見出された⁽⁶⁾。

そしてこの装置(写真1)を用いて極めて再現性、均一性の良好なAlAs選択酸化を行えることが下記の通り、東京工業大学精密工学研究所小山二三夫教授らのグループより報告された。

400℃で12分間、30μm角のメサの酸化を6回行った。酸化幅は酸化後、光学顕微鏡により観察した。約10.4μmの酸化幅に対し、酸化幅のバラツキは±0.1μmであった。酸化幅のバラツキはこれまでのパブリング方式であれば±

0.9μm程度であったのに対し、大幅な改善が見られた⁽⁷⁾。

このAlAs選択酸化技術を用い、GaAs(100)上に単一モード面発光レーザー素子を実現した。5×5の領域でしきい値電圧1.52±0.01V、しきい値電流0.42±0.02mA、2mAまで単一モード発振で最大単一モード出力は、0.5mWであった⁽⁸⁾。

3. 新型酸化装置 (VOX3001) の開発

改良型プロト装置(OV3001)は研究用として開発されたため、操作性に関しては生産現場に不向きであった。そこで我々は、新型酸化装置(VOX3001)を開発した(写真2)。

新型酸化装置は、改良型プロト装置の基本性能を継承し、量産用装置としての操作性、安全性を高めるように工夫されている。その開発コンセプトは次の通りである。

(1) コンパクト

設置面積を30%縮小。

プロト装置 (1.1×2.0=2.2m²)

→新型装置 (1.1×1.4=1.54m²)

(2) 操作性向上

- 前面扉より、基板のセットが可能 (オープンレンジの要領)。

- 液晶タッチパネルよりレシピ設定操作、自動化開始が可能。

- 「立上」「立下」は全自動化により、省人化。

- 純水タンクを前面に設置し、前面より純水の供給が可能。

(3) 安全性向上

- 前面扉より、基板のセットが可能。
- チャンバ高温部をキャビネット内に収納。

(4) メンテナンス性向上

- 前面扉の採用により、可動式ガス導入フレキ配管から固定式ガス導入配管へ変更。

- キャビネット前面上部ハッチより、ガス供給系のメンテナンスが容易。

(5) デザイン

- ワンユニット化 (従来機は2分割)
- 各電源を内面扉内に収納
- 人間工学に基づいたデザインを採用

(6) 基本性能

- プロト装置の基本性能 (均一性、再現性) を継承。
- 急速酸化停止機構の採用により、スルーブットの向上と確実な酸化停止を実現。

表1に新型酸化装置(VOX3001)の仕様を示す。



写真1 改良型プロト装置 (OV3001) 概観



写真2 新型酸化装置 (VOX3001) 概観

表1 新型酸化装置 (VOX3001) 仕様

項目	仕様
● チャンバー 基板サイズ 基板加熱機構	φ3インチ基板×1枚 抵抗加熱方式 (最高加熱温度/600℃)
基板回転機構 ガス導入ノズル	Max.15rpm 最高加熱温度/150℃
● 原料供給系 流量制御方式 酸化方式	液体マスフローコントローラ方式 熱式気化器 (最高加熱温度/200℃)
● 真空排気系	ダイヤフラムポンプ
● 制御装置	インターロック用シーケンスコントローラ ソフトウェア
● 酸化性能 面内均一性	20μm±0.2μm (周辺部除く 3インチ基板面内)
再現性	20μm±0.2μm (ランtoラン) ※但し、AlAsエピ膜の性能による

実際の操作手順については、次の通りである。

- ① 液晶操作パネル（写真3）の「立上」ボタンを押す。



写真3 液晶操作パネル画面

- ② 「立上」が完了したら、前面扉からサンプルを入れる（写真4）。



写真4 前面扉からのサンプル導入

- ③ 酸化温度、酸化時間のレシピ設定を行う。
- ④ 「酸化」ボタンを押す。そして自動シーケンスにより酸化プロセスが開始する。
- ⑤ 設定時間経過後、酸化終了。
- ⑥ 約5分後、サンプルの取り出しが可能となる。
- ⑦ 次の酸化を行う場合は、②から操作を行う。作業を終了する場合は、「立下」ボタンを押す。

このように操作は非常に簡単であり、生産現場サイドでのオペレーションを可能とした。

4. 新型酸化装置 (VOX3001) の基本性能

新型酸化装置の基本性能は、次の通りである。

(1) 温度安定性

430±0.6℃（計測時間：30分間）の温度安定性が得られた。これにより再現性のよい酸化を安定して行うことが可能である。

(2) 面内温度分布

430±0.6℃（計測領域：3インチ面内）という結果が得られた。これにより2次元アレー化、量産化における歩留まりを向上させることが可能である。

(3) H₂O流量安定性

24±0.1g/h（計測時間：60分間）という結果が得られた。これにより再現性のよい酸化を安定して行うことが可能である。

(4) 酸化面内均一性

3インチウエハトレイ上に置かれた酸化サンプルの様子を光学顕微鏡にて観察した結果を図5に示す。酸化温度は450℃（設定値）、酸化時間は10分、酸化幅は8.2μmである。これらの写真より、光学顕微鏡での観測限界内において均一な酸化が行えていると判断できる。

得られた結果は、極めて再現性の高い、均一性の高い面発光レーザーの作

製には十分であるといえる。

5. 今後の課題

AlAs選択酸化の再現性、均一性は、新型酸化装置により、格段に向上したが、今後、下記のような点についてさらなる研究開発および改善が望まれる。

(1) 酸化エンドポイントの検出

酸化速度は、そのサンプルによりバラツキがあるため、実際には、酸化処理の前に酸化速度を調べるための予備酸化を行っている。そして予備酸化の結果にて得られた酸化速度から本酸化の酸化時間を決め、所望の酸化層を形成する。しかし、予備酸化を行っても本酸化の酸化速度とは異なる場合があり、「酸化が足らなかった」あるいは「酸化が進みすぎた」という事態が発生する。そのため、酸化エンドポイントを正確に検出する手法の開発が切望されている。

(2) AlAsエピタキシャル層の改善

酸化速度は、エピタキシャル膜のAl組成、AlAsの膜厚、AlAsの結晶の状態により異なる。そのため、均一に酸化したつもりでもサンプルによってエピタキシャル膜の特性が異なるため面内の酸化速度にバラツキが生じ、結果としてウエハ面内に均一な酸化膜を作製することができないという問題がある。このようにAlAs選択酸化技術

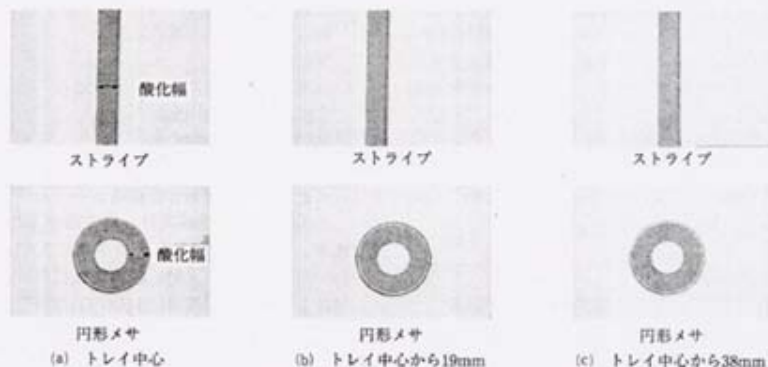


図5 3インチウエハトレイ面内酸化サンプルの様子（酸化温度：450℃、酸化時間：10分）

は、単に酸化装置側の改善だけでは、改善できない課題が残されている。我々は、MBE装置やMOCVD装置などのエピタキシャル結晶成長装置の製造メーカーでもあるため、今後エピタキシャル結晶成長装置側の改善を行っていく必要性を強く感じている。

(3) AlAs選択酸化技術の基礎的な研究の必要性

AlAs酸化は、Guhaらによって基礎的な研究⁽⁸⁾がされており、Al_xO_yの結晶構造やそのグレインサイズなどが報告されている。しかし、AlAs選択酸化技術は、酸化のメカニズム自身もまだまだ未解明の部分も多い。例えば我々がAlAs選択酸化を行う際にもその酸化時の体積変化の問題やAlAsの結晶面方位により、酸化速度が異なるという現象に直面するなど、AlAs選択酸化を量産技術として安定して使いこなすに

は、今後も基礎的な研究が継続してなされるべきだと痛感している。

おわりに

AlAs選択酸化技術は、面発光レーザー製造には欠くことのできない技術になりつつある。また、面発光レーザー以外のデバイス加工の技術やマイクロマシニング用としての応用も期待されており、我々の開発グループでは、ユーザーとともにこの技術をさらに進化させ、新たなハードを提供していることが責務と考えている。

謝辞

本装置の開発および本稿をまとめるにあたり、東京工業大学精密工学研究所の小山三夫教授、荒井昌和氏、米国コーニング社西山伸彦氏には、多大

なるご指導を頂き深く御礼申し上げます。また、本装置の開発に関してご協力頂きました関係者の方々に深く感謝致します。

<参考文献>

- (1) 伊賀健一・小山三夫：「面発光レーザーの基礎と応用」、共立出版、1999。
- (2) W.T.Tsang, Appl.Phys.Lett. 33, 426, 1978.
- (3) J.M.Dallessasse, N.Holonyak, Jr., A.R.Sugg, T.A.Richard, N.El-Zein, Appl.Phys.Lett. 57, 2844, 1990.
- (4) D.L.Huffaker, D.G.Deppe, K.Kumar, T.J.Rogers, Appl.Phys.Lett. 65, 97, 1994.
- (5) Y.Hayashi, T.Mukaihara, N.Hatori, N.Ohnoki, A.Matsutani, F.Koyama, K.Iga, Electron.Lett. 30, 560, 1995.
- (6) M.Arai, Doctoral thesis, Tokyo Institute of Technology, 2003.
- (7) M.Arai, N.Nishiyama, S.Shinada, F.Koyama, K.Iga, Jpn.J.Appl.Phys. 39, 3468, 2000.
- (8) S.Guha, F.Agahi, B.Pezeshki, J.A.Kash, D.W.Kisker, N.A.Bojarczuk, Appl.Phys.Lett. 68, 906, 1996.

【筆者紹介】

榊野由明

(昭和37年12月4日生・兵庫県出身)
㈱エピクエスト 市場開発グループ
取締役
〒621-0827
京都府亀岡市篠町王子下上牧32-6
TEL : 0771-29-4666
FAX : 0771-29-3215
E-mail : zenno@epiquest.co.jp
<主なる業務歴および資格>
1985年日新電機㈱入社。研究開発部に所属。化合物半導体薄膜製造装置などの開発、事業化に従事。1997年㈱メックス入社。営業技術部課長。日新より引継いだMBE、MOCVDの開発、営業に従事。2000年㈱メックスより独立。㈱エピクエストを創業。現在、取締役。営業統括担当。

<過去の執筆実績>

「化合物半導体製造用MOCVD装置およびMBE装置」、電子材料、pp.84-89 (1998年11月)

梅本真哉

(昭和47年6月20日生・愛知県出身)
㈱エピクエスト 技術開発グループ
リーダー

〒621-0827

京都府亀岡市篠町王子下上牧32-6

TEL : 0771-29-4666

FAX : 0771-29-3215

E-mail : umemoto@epiquest.co.jp

<主なる業務歴および資格>

1998年㈱メックス入社。京都事業本部に配属、MBE装置、Kセル、特殊CVD装置開発等に従事。2000年、㈱エピクエスト創業後、特殊酸化装置、特殊Kセル等の設計・開発に従事、現在に至る。

山本高穂

(昭和35年3月21日生・兵庫県出身)

㈱エピクエスト 常務取締役

〒621-0827

京都府亀岡市篠町王子下上牧32-6

TEL : 0771-29-4666

FAX : 0771-29-3215

E-mail : yamamoto@epiquest.co.jp

<主なる業務歴および資格>

1984年日新電機㈱入社。研究開発部に所属。MBE装置の開発、事業化に従事。1997年㈱メックス入社。技術開発部課長。日新より引継いだMBE、MOCVDの開発、製造に従事。2000年㈱メックスより独立。㈱エピクエストを創業。現在、常務取締役。技術統括担当。

株式会社エピクエスト

<代表者名> 代表取締役社長
前野弘志

<本社住所>

〒674-0065

兵庫県明石市大久保町西島86-1-5-501

TEL : 078-948-5266

FAX : 078-948-5267

URL : <http://www.epiquest.co.jp/>

E-mail : info@epiquest.co.jp

<資本金> 3,000万円

<年商> 5億円

<従業員数> 11名

<主要取引先>

アンリツ、日本電気、古河電工、産業技術総合研究所、全国各大学

<事業内容および会社近況>

化合物半導体薄膜製造用MBE装置、MOCVD装置の製造・販売・フィールドサービスを行っている。最近では、酸化プロセス用装置やSiC用CVD装置などのプロセス装置も手がけている。また、MBE装置用の特殊Kセルの開発やMOCVD装置で作成したエピタキシャルウェハの販売も新ビジネスとして取組む。