車載 3D センサ向けドライエッチング技術

古田寬治*1·上村隆一郎*1,2

Dry Etching Technologies of 3D Sensor for Automotive

Kanji FURUTA^{*1} and Ryuichiro KAMIMURA^{*1, 2}

*1 Advansed Electronics Equipment Division, ULVAC, Inc., 2500 Hagisono, Chigasaki, Kanagawa, 253-8543, Japan *2 Institute of Semiconductor and Electronics Technologies, ULVAC, Inc., 2500 Hagisono, Chigasaki, Kanagawa, 253-8543, Japan

Development of 3D sensing devices for autonomous driving has seen significant technical advances in recent years. Among them, Light Detection And Ranging (LiDAR) proves to be the most compatible for such sensors as it possesses characteristics that can further enhance the functionality of autonomous driving.

Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) is economical and compact enough to be the light source of LiDAR. And dry process is the key to fabrication of VSCEL. However such fabrication method poses various challenges. To fabricate these devices, we have been developing high-uniformity etching technology, along with Interferometry End Point monitoring system.

This paper will elaborate on the solutions took to address these challenges.

1.) はじめに

自動車産業において、電気自動車に次ぐ革命として 自動運転技術の開発が進められている。自動運転を行 うためには、自動車の周囲の情報を 3 次元的に得る必 要があり、車載用の高精度に 3D センシングが可能な 方法として、LiDAR (Light Detection And Ranging: 光による検知と測距)がある。車載用 LiDAR の市場 は 2018 年で 15 億円程度であるが、今後自動運転技術 の進歩に伴い、2024 年までには 1400 億円の市場にま で達することが予測されている¹⁾。



*1(株)アルバック 電子機器事業部(〒253-8543 神奈川県茅ケ 崎市萩園 2500)

*²(株)アルバック 半導体電子技術研究所(〒253-8543 神奈川 県茅ケ崎市萩園 2500) LiDAR の原理は、レーザーをパルス状態で対象物に 照射し、発光してから反射光を検出するまでの時間 t を用いて、対象物との距離 d を算出する (Fig.1) これ は ToF (Time of Flight) と呼ばれる技術であり、今 後この原理を用いたセンシングデバイスはさらに増加 していくものとみられる。

この原理を用いた LiDAR は、①繰り返し発光するパ ルスレーザーと走査機構を用いた走査型 LiDAR と、② 高出力の単一パルスレーザーと 2 次元受光素子アレイ を用いたフラッシュ型 LiDAR の 2 種類に大きく分け られる。

現在実用化されているカメラやミリ波レーダーを用 いた方式とは違い,LiDARでは赤外レーザーを用いて いる。Table1にそれぞれの特徴を一覧にした。ミリ 波レーダーと比較して波長の短い赤外光を用いている ため,検出の空間分解能が高く,歩行者や自転車等の 検出も可能になっている。霧や雨などの悪天候時では, ミリ波レーダーと比べて検出性能が低下するが,夜間 では同等の検出性能が得られる。

	Camera	Millimeter -wave radar	LIDAR
Measurable range	0	0	0
Spatial resolution	0	Δ	0
Weather resistance	Δ	0	0
Detectability in dark	0	0	0
Object recognition	0	Δ	0

Table 1 Comparisons of sensors

車に搭載する特性上,デザイン面での小型化や,他 のセンシングデバイスと比較して高価なため低コスト 化が要求されている。そこで,赤外光源には小型な半 導体レーザーが用いられている。LiDARの普及に伴い, センシング関連の半導体レーザー市場も 2018 年の 180 億円から,2024 年には 700 億円にまで成長することが 期待されている²⁾。

本稿では、LiDAR に用いられる半導体レーザーを紹 介し、半導体レーザーの製造プロセスにおける課題と 対策について、ドライプロセス技術がどのように用い られているかについて記述する。

2.) 半導体レーザー(EEL と VCSEL)

半導体レーザーには下記のような特徴があり,これ らの特徴は高性能で小型,低コストな LiDAR 用光源 としての要求とも一致する。

小型・堅固(約300×200×100 µ m³)

- (2) エネルギー変換効率が高く低消費電力
- (3) 10GHz 以上の高速直接変調
- (4) 数万~100万時間の張寿命で信頼性が高い
- (5) 量産化が可能であり低コスト(~1\$/個)

LiDAR に用いられる半導体レーザーには、大きく分 けて EEL (Edge Emitting Laser:端面発光レーザー) と VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser: 面発光レーザー)の2種類の半導体レーザーがある。 EEL と VCSEL の比較を Table 2 に示す。

EEL は Fig.2 (a) のように,半導体基板上のエピ構 造をリッジ形状に加工し,劈開した端面を共振器とし て基板面と平行な方向にビームを出射する。

対して, VCSEL は, Fig.2(b)のように共振器ミラー

	EEL	VCSEL	
Output direction	Edge emission (Horizontal direction)	Surface emission (Vertical direction)	
Transverse mode	Elliptical beam	Circular beam	
Longitudinal mode	Mode hopping	Single mode	
Threshold current	<10mA		
Output power	~500mW	~10mW	

Table 2 EEL vs VCSEL

に半導体もしくは誘電体の積層構造から成る高反射 DBR (Distributed Bragg Reflector) 膜が用いられて いる。基板面に対して垂直方向に光を共振させ、基板 面と垂直な方向にビームを出射させる。

その構造から,製造工程では基板を劈開せずとも共 振器の形成やレーザー特性の検査が可能であり,大量 生産に向いている。他の半導体レーザーに比べて比較 的安価に製造が可能,2次元アレイにできる点などの 特徴を持つ。

上記プロセス工程でのメリット以外に、VCSEL の 特性として以下のようなものがある。

・システムの小型化

ウェハレベルでの集積が可能なため、パッケージ ングがシンプルである。マイクロレンズアレイと の組み合わせにより、システムを小型化しやすく、 車体のデザインを損なうことなく搭載が可能となる。

・低消費電力

閾値電流が小さいので, 消費電力が低い。

・長距離の測定

VCSEL 個々の出力は弱いが、アレイ化により高 出力が得られるので、長距離の測距が可能になる。

・環境安定性

2つの DBR によって決まるレーザー共振器より,



TECHNICAL JOURNAL

他の半導体レーザーに比べて熱による発光スペク トルの変化が少ない。そのため、屋外での運転で も環境に影響されにくく、安定した測定が可能で ある。

上記のように、VCSELは車載向けLiDAR用レーザー として有利な特性を持っており、今後さらなる開発が 進められることが期待されている。

3. VCSEL プロセスの課題と対策

VCSEL 作製におけるドライプロセス工程の概要を Fig.3 に示す。GaAs(砒化ガリウム)基板上に, AlGaAs/GaAs層を数十ペア以上からなるDBR多層膜 と活性層を含む積層構造としてエピ成長させる。その エピ層をメサと呼ばれる円柱状を形成するためのマス クパターンをフォトリソにて形成し、ドライエッチン グによる加工を行う。その後、活性層近傍に設計され た特定のAlGaAs層をウェット酸化により酸化狭窄す る(この酸化狭窄層は電流と光の閉じ込め構造として, VCSELの特性を左右する非常に重要な層である)。最 後にメサの側壁保護膜の成膜と n型, p型それぞれの 層へ電極形成を行う。

現在 VCSEL では,酸化狭窄層の制御性に課題を持っているが,具体的な解決策となる技術が見つかっていない。代わりに,酸化狭窄分布の影響を最小限にするため,メサ形状の加工精度の向上が望まれている。

メサ加工には、前述の通りドライエッチング技術が 利用されている。アルバックでは多くの VCSEL 向け のエッチング実績を持っており³⁾,本稿では形状やウェ ハ面内分布の制御性について紹介する。VCSEL に用 いられている GaAs 等のII-V族化合物半導体のエッチ ングには塩素系ガスが使用され、AlGaAs/GaAs 多層 膜には反応性主体の条件が用いられるため、形状や ウェハ面内分布の制御が難しい。さらに、化合物半導 体のエッチングでは、プロセス条件だけでは形状と ウェハ面内分布制御の両立が困難である。





8





NE ドライエッチング装置では, Fig.4 のようにアン テナ構造に ISM (Inductively Super Magnetron) 方式 を用いている。ISM 方式を用いたアンテナはプラズマ 分布の最適化が可能であり, Fig.5 のように GaAs ウェ ハのエッチング面内分布で 3% 以下の非常に均一な分 布が得られる。実際のエピ構造による形状分布も Fig.6 に示すとおり, 面内で均一な形状が得られている。

メサの形状は出力やビーム径等の特性に影響を与え るため、デバイスの用途によって様々な形状が要求さ れる。マスク構造やプロセス条件を最適化することで、 Fig.7 のようにテーパー形状から垂直形状まで要求され る形状にエッチングすることが可能である。

メ サ の 深 さ 制 御 に つ い て は, Fig.8 の IEP (Interferometry End Point:光干渉による終点検知) システムを用いることで,高精度にエッチングの深さ を制御可能である。Fig.9 に本システムを使用して得 られた干渉波形を示す。DBR 層を含め積層構造がエッ









チングされている様子が把握でき、この波形を監視し ながら DBR ペア数をカウントすることで、任意の深 さでエッチングを停止することができる。実際に IEP システムにて DBR ペア数をカウントした波形は Fig.9 のようになっており、Fig.10 の SEM 観察結果から波 形どおり目的の層でエッチングが止まっていることが 確認できる。

また, GaAs/AlGaAs や GaAs/InGaAsP といった半 導体材料の組成比の違いを利用した選択エッチング技 術も可能であり, IEP システムまたは OES (Optical Emission Spectrometer) システムと組み合わせること で,よりエッチング精度の高い要求にも対応すること が可能である。

4. まとめ

LiDAR 用光源である半導体レーザーの作製には, ドライプロセス技術が鍵である。NE ドライエッチ ング装置においてプロセス条件やアンテナの最適化 により, 化合物半導体のウェハ全面において加工寸 法均一性の向上と加工形状の最適化を達成できるこ とができた。

高精度なドライエッチングプロセス技術によりウェ ハ面内で均一な形状を作製することで、今後、更なる 市場拡大が期待される半導体レーザーの持つ生産歩留 まりの課題が解決されると期待できる。

文 献

- P.Boulay, A.Debray, LiDAR for Automotive and Industrial Applications 2019 Report, (Yole Development, 2019)
- M.Vallo, P.Mukish, Edge Emitting Lasers: Market & Technology Trends report, (Yole Development, 2019)
- R.Kamimura, K.Furuta : IEICE Transactions on Electronics, E100.C, 150 (2017)