

平成29年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「レーザーダイオード及び、光学部材の高精度実装技術開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 株式会社 産学連携機構九州

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 【1】 実装時の応力によるズレ及び部材の出来栄が実装精度に影響
する課題への対応

- 【1-1】 Si-Sub 開発
- 【1-2】 吸着コレット開発
- 【1-3】 レーザーダイオード発光部を基準とした実装技術開発

- 【2】 量産対応に向けた実装技術開発
 - 【2-1】 ズレ量制御アルゴリズム開発

第3章 全体総括

- 3-1 研究開発成果まとめ
- 3-2 事業の成果に係る事業化展開について
- 3-3 事業の成果に係る知的財産権等について

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(背景)

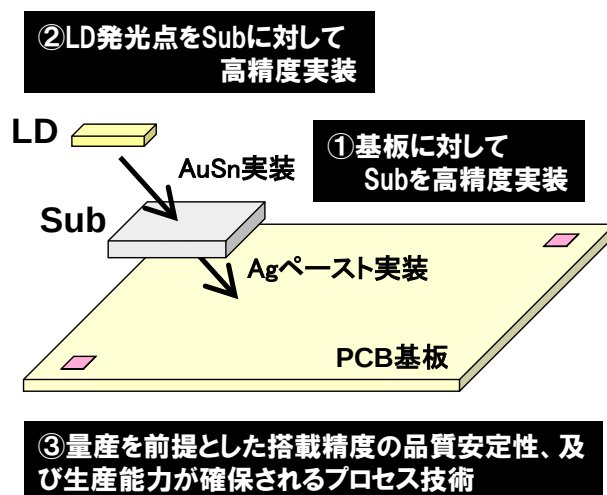
レーザーダイオードを搭載するデバイスの一つに石英 Fiber を用いた光通信のデバイスがある。この市場は、近年、モバイルデバイスの普及やソーシャルメディアの浸透、更には、多種多様なモノがネットワーク化された世界（「IoT (Internet of Things)」の世界）が現れたことなどにより、蓄積されていく膨大かつ多様なデータ（ビックデータ）のため急速に拡大している。データの通信網としては光通信の高速化、及び敷設の利便性・低価格化により石英 Fiber のみならず、Plastic Fiber を用いた通信網の拡大が見込まれる。又、光通信以外の市場としてウェアラブルや、プロジェクター、プロジェクションマッピング等の光メディアの光源として RGB (RED、BLUE、GREEN) のレーザーダイオードが使用されていることから、これら事業も拡大が期待できる。

これらの市場からは低コスト化の要求が強い。従来、レーザーダイオードを搭載するデバイスの実装工程では、「レンズ、ミラー等光学部品の光学調心プロセス」が必要であった。この一般的なプロセスは、レーザーダイオードを発光駆動しながら、光学部品を通したビーム形状のモニタリング、もしくは光ファイバーとの光結合状態のモニタリングを行い、これらが最適な状態になるように光学部品をサブミクロンの高精度で調整する。この「光学調心プロセス」は長時間を要す為、製造コストに占める割合が非常に高い。この為、「光学調心プロセス」の短縮化、簡略化が低コスト化実現に向けて喫緊の課題となっている。

(研究目的)

そこで、本研究開発は、低コスト化に向けた課題の解決として、「光学調心プロセス」を限りなく短縮、もしくは削除する為に、レーザーダイオード及び光学部品の実装精度をサブミクロンで行うプロセスの開発を目指す。レーザーダイオードの高精度実装における課題を

左図に示す。これらの課題解決に向けて、本事業は以下のテーマに細分化し、九州電子株式会社、株式会社ザイキューブ、及び国立大学法人 九州大学が連携しながら進める。



(研究開発テーマ及び目標)

【1】実装時の応力によるズレ及び部材の出来栄えが実装精度に影響する課題への対応

【1-1】 Si-Sub 開発

Si-Sub の設計、実装技術開発：九州電子(株)、Si-Sub の成形開発：(株)ザイキューブ

【1-2】 吸着コレット開発

吸着コレット開発、及び実装技術開発：九州電子(株)

【1-3】 レーザーダイオード発光部を基準とした実装技術開発

実装技術開発：九州電子(株)、高精度実装に向けたレーザーダイオード開発：九州大学

研究テーマ【1-1】で開発した Si-Sub の実装を【1-2】で開発したコレットを使用することにより実装精度として $1\mu\text{m}$ 以下を目標とし、【1-3】により、Si-Sub への LD 実装精度として $1\mu\text{m}$ 以下を目標とする。又、量産適用プロセスを視野に実装インデックス 7sec/個を目標とする。

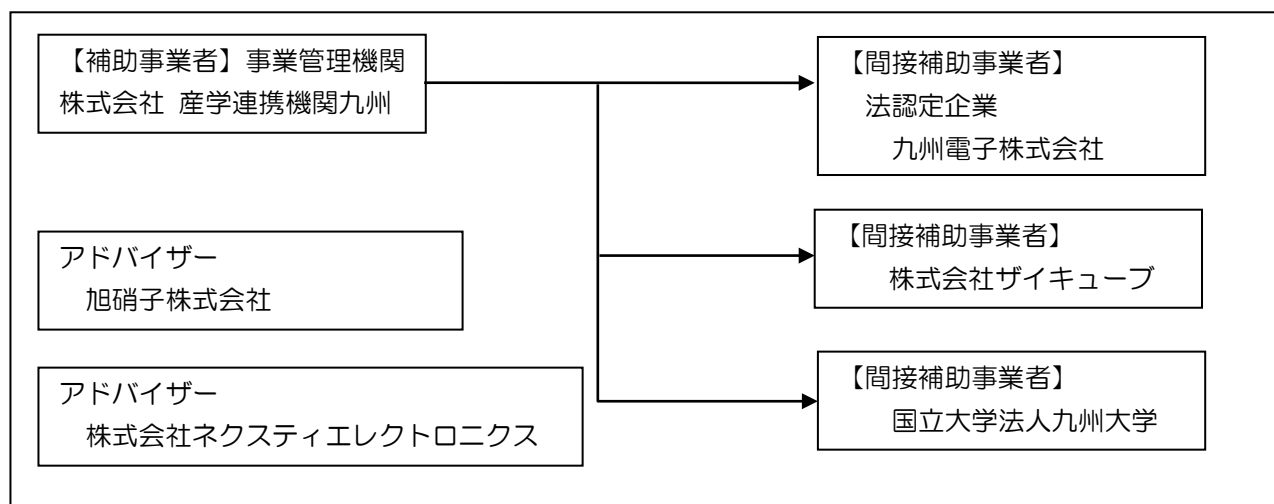
【2】 量産対応に向けた実装技術開発

【2-1】ズレ量制御アルゴリズム開発 ：九州電子(株)

量産プロセスとして自動実装を視野におき、実装ズレに関する歩留品質の安定化に向けた実装アルゴリズムを開発する。

1-2 研究体制

1-2-1 実施体制



1-2-2 管理員および研究者氏名

【事業管理機関】株式会社 産学連携機関九州

氏名	所属・役職	備考
前田 真	代表取締役社長	
畑中 省一	知的財産部部長	
上村 基生	総務部部長	
橋谷 真由美	事業企画部	
緒方 由美子	総務部	
津村 智子	総務部	

【研究実施機関】九州電子株式会社

氏名	所属・役職	備考
豊重 俊英	新製品開発統括部 統括部長	PL
遠坂 憲司	新製品開発統括部第五技術課 課長	
上田 洋功	新製品開発統括部第五技術課 主任	
松下 真也	新製品開発統括部第五技術課	
吉村 康之	新製品開発統括部第五技術課	
松田 智和	新製品開発統括部第三技術課 班長	
上野 安博	生産技術部自動化推進課 部長代理	
田中 良治	生産技術部自動化推進課 エキスパート	
西村 功	生産技術部自動化推進課 主任	
島田 英臣	生産技術部自動化推進課	
田畑 智成	生産技術部自動化推進課	

【研究実施機関】株式会社ザイキューブ

氏名	所属・役職	備考
中村 博文	執行役員製品技術部長兼福岡開発センター長	SL
熊谷 浩一	デバイス・システム設計部長	
門川 裕	福岡開発センター マネージャー	

【研究実施機関】国立大学法人九州大学

氏名	所属・役職	備考
浜本 貴一	大学院総合理工学研究院光エレクトロニクス 教授	
姜 海松	大学院総合理工学研究院光エレクトロニクス 助教	

【アドバイザー】旭硝子株式会社

氏名	所属・役職	備考
平瀬 英成	事業開拓部機能部材展開グループ POF ユニットリーダー	

【アドバイザー】株式会社ネクスティエレクトロニクス

氏名	所属・役職	備考
笠原 健	新事業企画部事業企画グループ 部長職	

1-3 成果概要

【1】 実装時の応力によるズレ及び部材の出来栄が実装精度に影響する課題への対応

【1-1】 Si-Sub 開発

レーザーダイオードを搭載する Sub の構造として、光学部品を搭載する V 溝、及びコレットで吸着する勘合面として C 面を Si の異方性を利用したウェットエッチングで成形するプロセスを開発し、目標を達成した。

【1-2】 吸着コレット開発

上記の Si-Sub の C 面を勘合吸着するコレットを開発し、この実装方法により、Sub の実装精度が大幅な改善を達成した。

【1-3】 レーザーダイオード発光部を基準とした実装技術開発

レーザーダイオードのアライメントマークに対する発光部ズレ量を測定する評価系を開発し、レーザーダイオードの実装位置にこのズレ量を補正して実装する検討を進めた。九州大学で開発したレーザーダイオードを上述の技術で実装を行い、発光部の実装精度として数値目標である $1\mu\text{m}$ を達成した。又、「仮融着+本融着」のプロセスを提案し、数値目標である実装インデックス 7sec/個を達成した。

上述の実装技術を用いたサンプルを作成し「光学部品の調心プロセス」が削除可能である実装精度を確認した。

【2】 量産対応に向けた実装技術開発

【2-1】 ズレ量制御アルゴリズム開発

量産時の自動運転を考慮した場合の品質保証として、実装ヘッドの移動軸におけるキャリブレーション機能の有効性を確認し、時間軸に対するズレ量の傾向からみた「ズレ量品質の管理手法」を確立した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

株式会社 産学連携機構九州

知的財産部部長 畑中 省一

TEL 092-834-2388 FAX 092-834-2389

e-mail hatanaka@k-uip.co.jp

〒814-0001 福岡市早良区百道浜3-8-34 九州大学産学官連携イノベーションプラザ 2F

【法認定機関】

九州電子株式会社

光半導体事業部 新製品開発統括部長 豊重 俊英

TEL 0964-32-4805 FAX 0964-32-4810

e-mail ttyosige@qdk.co.jp

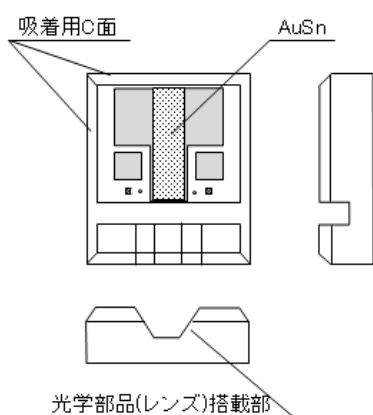
〒869-0562 熊本県宇城市不知火町長崎 89

第2章 本 論

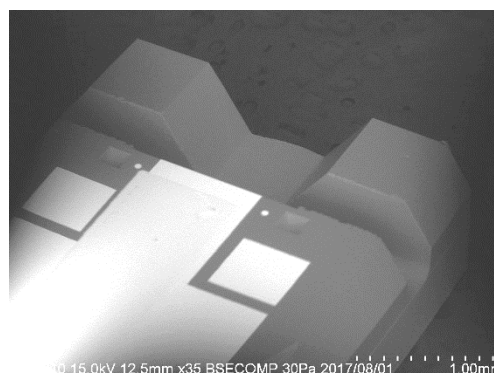
【1】実装時の応力によるズレ及び部材の出来栄が実装精度に影響する課題への対応

【1-1】 Si-Sub 開発

Sub の高精度実装の実現に向けて、実装時の応力によって生じるズレ量を抑制する必要がある。この解決策として、Sub のダイシング部上面に C 面を形成し、この C 面を【1-2】で開発した実装コレットで勘合保持することによりズレ量を抑制する手法を考案し、その効果を確認した。又、低コスト化に向けて光学部品の光学調整時間を削減する為に、Sub



【Si-Sub コンセプト】



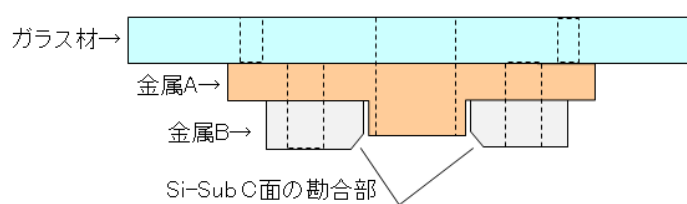
【開発したサンプル外観】

にレンズを搭載する V 溝を有する構造とした。この C 面、及びレンズ搭載部の加工に関して、Sub の材質として Si を採用し (Si-Sub と表記)、Si の異方性を利用したウェットエッチングによる一括形成を目標に進めた。本開発にあたり、特にレンズ搭載部の深さ約 550 μm の V 溝を精度良く形成する為、エッチング液の選定とエッチング条件の検討、及びエッチングのマスク材と成形方法の検討を進めた。又、レーザーダイオードの搭載部には融着材としての AuSn 層をメタライズ手法にリフトオフ技術を用いて形成することで、当初の目標とした Si-Sub の構造を実現することが出来た。このサンプルを使用し、【1-2】【1-3】の実装開発を進めた。

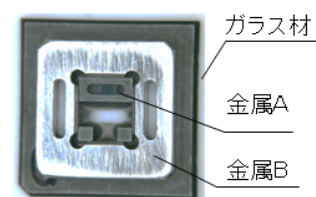
【1-2】 吸着コレット開発

Si-Sub の実装において、Si-Sub を吸着するコレットと Si-Sub を搭載する基板との垂直度に僅かながら角度差が生じる。Si-Sub 実装時に荷重を付加した場合、この角度差によって応力が発生し、Si-Sub の実装ズレが生じてしまう。この実装ズレを抑制する手段として、上述【1-1】で形成した Si-Sub の C 面を勘合した状態で吸着するコレットを適用することで、応力の影響を限りなく低減させることを目標とした。このコレットの開発にあたって、基板のアライメントマークと Si-Sub のアライメントマークを Si-Sub 実装時に同時認識が可能となるようにガラス材を用いることで認識誤差を最小とした。又、量産適用を視野に入れ、Si-Sub の C 面を勘合する部分は多種多様な品種サイズへの適用性を考慮し、又、品種毎の切替え作業が容易であること、且つ、コレット費用を抑制した材料を適用したことで、運用コストを抑制できる設計とした。

このコレットを適用することで、従来のコレット構造(Subの上面を面吸着)に比較して実装精度は大幅に改善し、 $3\mu\text{m}$ 以下を実現した。目標とした $1\mu\text{m}$ 実装に向けて検討を進めた結果、基板に形成したアライメントマークの出来栄え(アライメントマーク外周の歪)に因ることが判り、この形成手法の改善が今後の課題と考える。

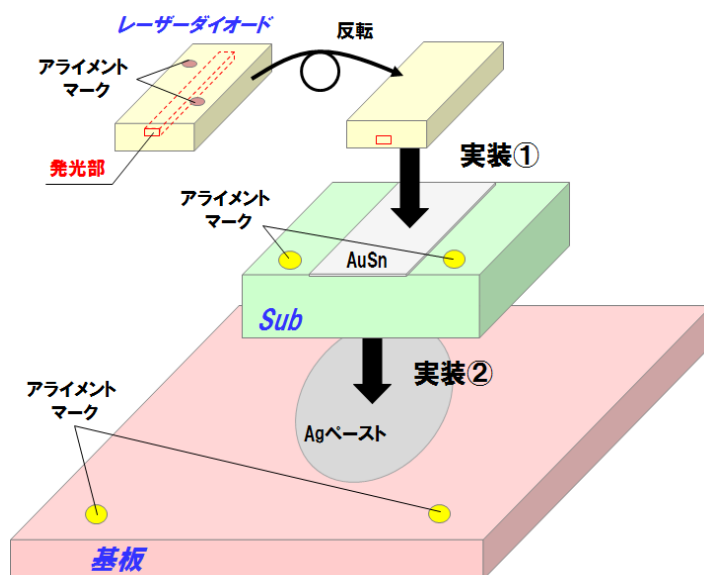


【コレット概要】



【コレット写真(下面)】

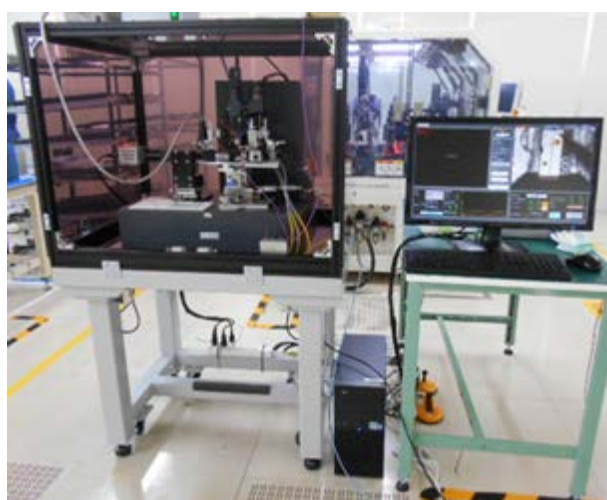
【1-3】 レーザーダイオード発光部を基準とした実装技術開発
一般的なレーザーダイオードの実装を下図に示す。



【レーザーダイオード実装イメージ】

レーザーダイオードの実装においてはSubもしくは、基板のアライメントマークに対し、レーザーダイオードの発光点を精度よく実装することが必要である。

実装①の一般的な実装方法は、レーザーダイオードのアライメントマークと基板のアライメントマークを画像で認識し実装するが、この場合、レーザーダイオードが持っている発光部とアライメントマークとのズレ量がそのまま実装後の発光部のズレ量に反映されてしまう。この為、予めレーザーダイオードの発光点とアライメントマークのズレ量を計測し、そのズレ量を実装位置に反映させる必要がある。又、実装後の出来栄を評価する為に、実装後のSub アライメントマークに対するレーザーダイオードの発光部のズレ量を測定する必要がある。この実現の為に、レーザーダイオードの発光部とアライメントマークのズレ量を高精度で測定でき、且つ実装①を施したサンプルに対して、発光部とSub のアライメントマークとのズレ量を高精度で測定できる評価系を開発し、このズレ量の測定精度として $0.2\mu\text{m}$ 以下であることを確認した。

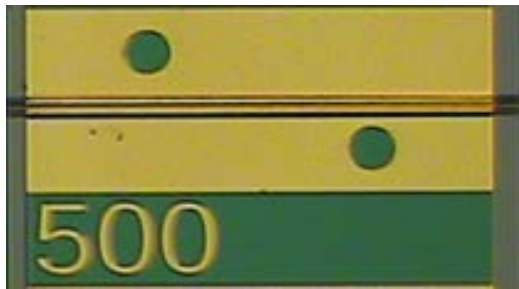


【発光部評価系 全体写真】



【発光部の測定画面】

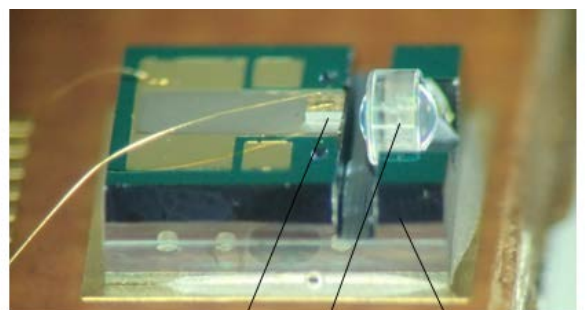
本研究では、実装開発に使用するレーザーダイオードの開発を九州大学で行った。上述の発光部評価系を用いながら、レーザーダイオードの発光部とアライメントマークのズレ量抑制に向けた開発を行い、最終的にズレ量を $0.3\mu\text{m}$ レベルに抑制できた。又、実装機でのアライメントマークの認識性を向上させる為に、劈開方法の検討による異物付着低減、及び実装機での吸着性を改善する為に電極面の形成方法の検討を進め、レーザーダイオード実装の高精度実装技術の開発に向けたサンプルの開発・提供を行った。



【九州大学が開発したレーザーダイオード】

又、高精度実装技術の開発を進めるにあたり、レーザーダイオードの AuSn 実装、及び Si-Sub の Ag ペースト実装評価を行う為の評価機を導入し、実装評価を進めた。この実装機の実装精度改善として「カメラ倍率変更」、「位置決めシーケンス変更によるレーザーダイオードのピックアップ精度向上」等の検討を進めた。上述の「Si-Sub の開発」、「発光部の位置補正」、「九州大学からのレーザーダイオード提供」により、レーザーダイオードの発光部と Si-Sub のアライメントマークとのズレ量において、当初の数値目標である $1\mu\text{m}$ 以下を達成できた。

上記で開発した Si-Sub、及びレーザーダイオードを用いて顧客プロモート用サンプルの作成を行なった(下図参照)。

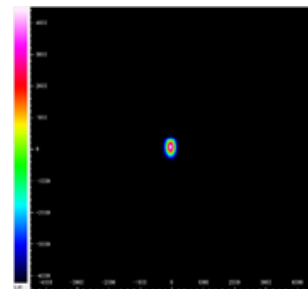


レーザーダイオード

コリメートレンズ

Si-Sub

【サンプル外観】

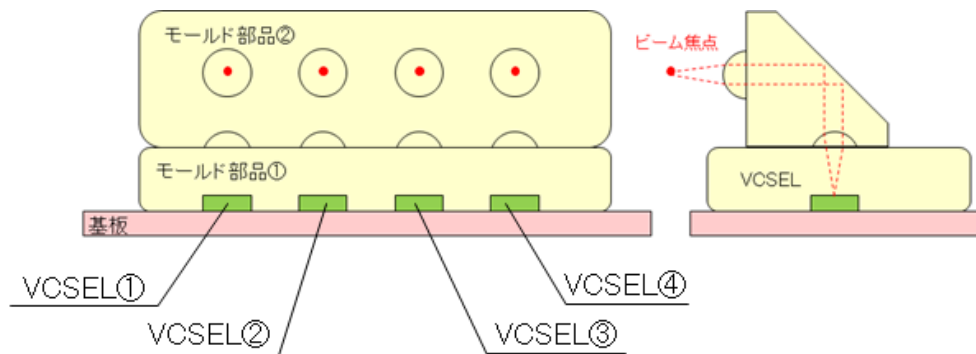


【レンズを通した
ビームプロファイル観察】

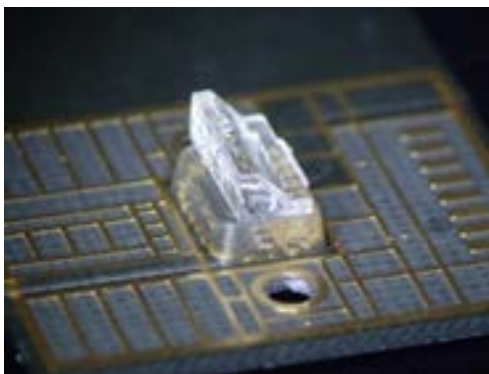
このサンプルは、レーザーダイオードが Si-Sub 上に AuSn で融着されており、その発光部は Si-Sub のアライメントに対して約 $0.3\mu\text{m}$ の高精度で実装されている。又、レーザーダイオード前方に、Si-Sub にウェットエッチングで形成された V 溝にコリメートレンズを UV 樹脂で固定した。今回開発した実装プロセスでは、「レーザーダイオードを動作し

ながらレンズをアライメントする」という従来の光学調心プロセスは不要であり、大幅な作業時間の短縮が期待出来る。

又、上述のプロセスを応用し、AOC 光源用のサンプルを作成した。基板に VCSEL を高精度で実装し、且つ VCSEL の直上に透明樹脂でレンズを形成した。この効果として、光学部品の調心プロセスが不要になり、且つ部品点数の削減による大幅な低価格化が可能である。下図にサンプルの概要を示す。



【 サンプル構造 】



【 サンプル写真 】

	VCSEL①	VCSEL②	VCSEL③	VCSEL④
$\Delta X [\mu m]$	0.16	0.46	0.77	0.57
$\Delta Y [\mu m]$	-0.23	-0.64	-0.14	-0.13

【 VCSEL 実装精度 】

レーザーダイオードの実装工程に関して、事業化に際しては量産レベルの生産に適用できる設備の構築が必要である。この設備に対しては、「実装位置の品質確保」、及び「量産相応の実装インデックス」が要求される。今回、実装インデックスに関して以下の評価検討を行った。

レーザーダイオードを Si-Sub 上に AuSn 実装を行うことに関して、今回の評価機を使用した場合の実装インデックスは約 30sec/個であり、この殆どは AuSn を溶融する為の昇温時間、及びレーザーダイオードを固定する為の降温時間が占める。実装インデックスを低減するには、これら昇温/降温時間の短縮が必要となる。今回の開発では数値目標として

約 7sec/個(月産の生産能力=約 300,000 個)を数値目標とし、実装インデックス低減の検討を進めた。

温度の昇温/降温時間を短縮する方法として「仮融着+本融着」の2段階で実装を行う手法を検討した。

「仮融着」のプロセスとして、まず AuSn 溶融温度である約 280℃から若干低い温度に Sub を保持する。この状態では AuSn の組成変化、及び表面酸化は僅かであり、レーザーダイオードの Au 電極面と Sub 上の AuSn との融着性に与える影響は軽微である。この Sub にレーザーダイオードを加圧のみで固定する。その後、「本融着」として、オフラインでのリフローにより AuSn の溶融温度まで加熱し、AuSn を溶融させることでレーザーダイオードの Au 電極と AuSn を合金化させる。

このプロセスの効果として、「実装時の昇温/降温の時間」が不要となり、且つ、「本溶融はリフローによるバッチ処理が可能」であることから個々の加熱・冷却時間の大幅な削減が可能となる。

本研究では、「仮融着」の実装条件を検討し、【1】で開発した実装技術を転用することで、レーザーダイオードを 1 μm 以下の精度で Si-Sub 上に固定することを実現した。且つ、「本融着」における AuSn 溶融の前後でレーザーダイオードの実装位置変化は僅少であり、融着後においても、ズレ量 1 μm 以下の実装状態が保持できることを確認した。このことにより、「仮融着+本融着」を用いた高精度実装プロセスが有効であり、この工程を適用することで、7sec/個程度の実装インデックスを見込むことができ、量産を前提とした高精度実装プロセスが実現可能であると考ええる。

【2】量産対応に向けた実装技術開発

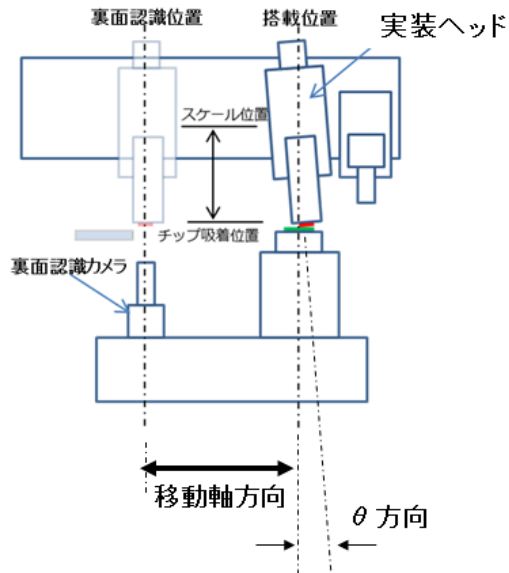
【2-1】ズレ量制御アルゴリズム開発

上記【1】の開発において、レーザーダイオードの実装精度として、実装ズレ量のバラツキを 1 μm 以下に抑制することが出来たが、run to run の運転において、実装ズレの平均値が 3 μm 程度バラツク現象を確認した。量産時の自動実装を想定した場合に、このズレ量を補正するしくみを構築する必要がある。

今回の開発で導入した実装評価機には、実装ヘッドが移動する「アライメント認識位置」と「実装位置」との距離間において、環境温度等の変化に対してズレが生じた場合、そのズレ量を測定し、補正する「キャリブレーション機能」を保有している。この機能は「ガラス基板に形成されたターゲットマークをトップカメラ（実装ヘッドが移動する軸上で移動し、上方から Si-Sub のアライメントマークを認識する機能を持つ）とボトムカメラ（固定位置でレーザーダイオードのアライメントマークを下方から認識する機能を持つ）で同時に画像認識を行い、両者のズレを補正する」というものである。この機能を用いて評価検討を行った。

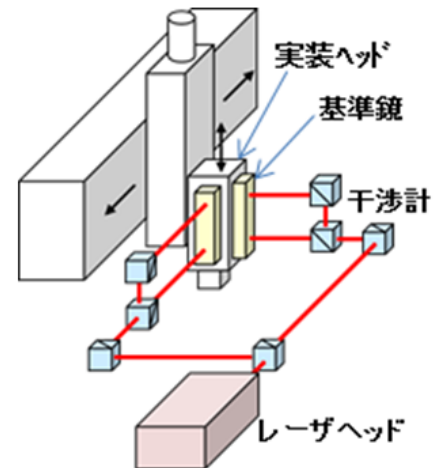
この結果、長時間のランニングにおいて、時間とともに、ズレ量は線形性を持ち、且つズレ方向に規則性を持ちながらシフトしていく現象を確認した。このことから、適切な時間間

隔でキャリブレーションを行うことで、平均値のズレ量を $1\mu\text{m}$ 以下に抑えることが可能であることが判明した。但し、このキャリブレーション手法は、実装ヘッドの等方向的なズレ量の補正に対してのみ有効と考える。更にズレ量を抑制する為には、実装ヘッドの傾き方向 (θ 方向) に関して、変位計等のモニタリング機能を付加し、ズレに対するメカニズムの分析と対応を行う必要があり、今後の課題と考える。



移動軸方向のズレは本実装機保有のキャリブレーション機能で補正可能。
 θ 方向の抑制が課題。

【実装機概要】



実装ヘッドの姿勢をレーザー干渉計等を用いた測定系を構築し、調査が必要である。

【課題の対応イメージ】

第3章 全体総括

3-1 成果概要と課題

本開発では、レーザーダイオードの発光部を高精度で実装するプロセスに関して、実装精度 $1\mu\text{m}$ を目標に進めた。この結果、レーザーダイオード発光部の評価系を構築し、発光部と Sub のアライメントマークの実装ズレ量の数値目標を達成した。又、量産性を考慮した高精度実装プロセスの開発として、実装位置の品質保証、及び実装インデックス低減の検討を行い、自動実装化に向けたプロセスの実現に道筋をつけることが出来た。又、レーザーダイオードを実装する Sub に関して、光学部品を実装できる V 溝、及び Sub を高精度で実装する為の C 面加工を Si の異方性を利用したウェットエッチングで形成した構造を提案し、開発を進めた。この結果、C 面を勘合吸着し実装することで、Sub の実装精度が大幅に改善出来ることを見出し、又この Si-Sub にレーザーダイオードを高精度で実装し、且つ V 溝にレンズを搭載することにより、光学調心プロセスが削減され、その結果、低コストに対応できるデバイス構造を提案した。具体的な例として、RGB 光源を想定したデバイス、及び AOC 光源を想定したデバイスの作成を行った。

又、本開発終了にあたり、以下の 2 点が課題として残った。

課題(1)：Sub の実装精度は $3\mu\text{m}$ まで改善できたものの、更なる精度改善に向けて基板のアライメントマーク形状の出来えを改善する必要がある。今回、アライメントマークはガラスマスクを使用した露光で形成したが、レーザーで直接パターンを描いていくダイレクト露光方式が精度良く形成可能であり、実装精度の改善に対して有効な手法と考える。

課題(2)：自動運転を想定した run to run の評価におけるズレ量平均値のシフト量として $1\mu\text{m}$ に抑制出来たが、十分な工程能力を確保する為にはレーザー変位計等のモニタリング機能付加した調査・検討が必要である。

これらの検討は、今後、市場要求や具体的な川下企業の要求を考慮しながら進める予定である。

3-2 事業の成果に係る事業化展開について

本事業では当初の目標である $1\mu\text{m}$ 以下の高精度実装の技術を開発し、市場要求である低コストを実現できるデバイス構造を提案する為のサンプルを作成した。この開発活動と並行して、展示会でのプロモート、及び川下企業として想定される光通信デバイスメーカ、AOC メーカ、RGB 光源メーカにプロモートを実施してきた。その結果、市場の立ち上がりに向けて、これらの企業と OEM ビジネスに繋がる可能性は高いと考えている。これらの対象となるデバイスの構造はカスタム性が強く、今後は事業化に向けて各メーカと共同開発の体制を構築すべくプロモート活動を継続、強化していく予定である。

3-3 事業の成果に係る知的財産権等について

本事業実施期間中に知的財産の出願は行わなかったものの、事業展開に応じて、知的財産権の出願・取得の検討、及び知的財産戦略を策定していく予定である。