

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「光MEMS技術を用いた独創的な構造の  
超小型・高精度・高速応答変位計測エンコーダの実用化開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 関東経済産業局

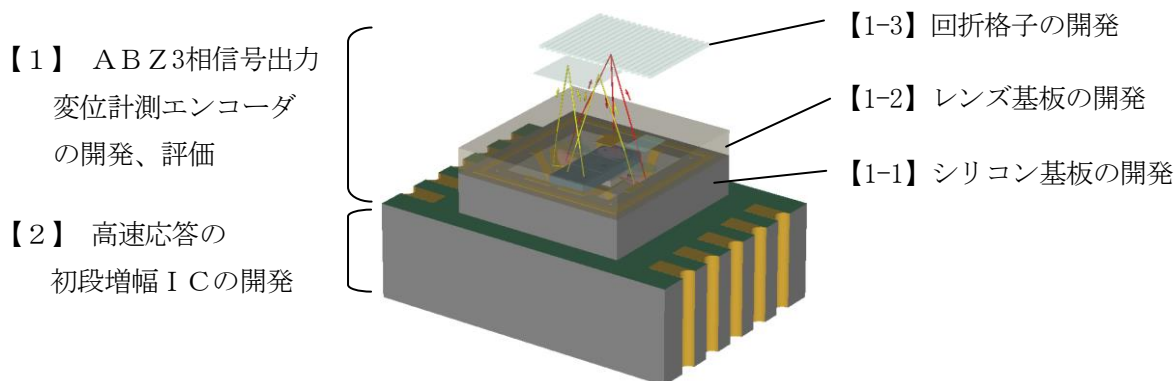
委託先 エクストコム株式会社

## 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	2
1-1-1	研究開発の背景・研究目的	2
1-1-2	研究開発の目標と実施内容	3
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	6
1-2-1	研究組織	6
1-2-2	管理員及び研究員	8
1-3	成果概要	9
1-4	当該研究開発の連絡窓口	10
第2章	本論	11
第3章	全体総括	21

## 第1章 研究開発の概要

[超小型・高精度・高速応答変位計測エンコーダの構成と研究開発項目]



### 【1】 ABZ3相信号出力変位計測エンコーダの開発、評価

安定したABZ3相信号を出力する変位計測エンコーダを開発する。安定したABZ3相信号を得るには構成部品の品質安定化が不可欠なため、構成部品の品質安定化の研究を実施し、品質評価方法を確立する。

### 【2】 高速応答の初段増幅ICの開発

変位計測エンコーダに直接接続できる初段増幅ICを開発する。変位計測エンコーダと直接接続することにより出力信号の伝達回路の長さが大幅に短縮でき、出力信号を高精度化するとともに応答速度を高速化する。

### 【3】 エンコーダ応用製品試作

変位計測エンコーダの応用製品であるロータリエンコーダとリニアエンコーダの製品試作を実施し、評価する。

## 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

### 1-1-1 研究開発の背景・研究目的

変位計測エンコーダは幅広い分野で利用されており年々応用分野は広がっている。

変位計測エンコーダの利用分野ではMEMS、ナノテクノロジーへと、ますます、高精度化、微細化、マイクロ化しており、メカニズムの位置決め技術を支える変位計測エンコーダの小型化・高精度化は必要不可欠になってきている。また小型・高精度化だけではなく効率アップの面から高速化も要求されている。

例えば、サービスロボットの指の動き（位置決め）の場合、今後は今まで以上になめらかで早く正確な動作が必要となってくるため、搭載される変位計測エンコーダは今まで以上の高精度化、高速化が要求されてくる。また指の関節に変位計測エンコーダを搭載する必要があるため変位計測エンコーダのコンパクト化・軽量化が必須となる。

しかし既存の製品では超小型と高精度・高分解能・高速応答を同時に実現しているものは無い。

本研究では、独創的な構造（特許取得）で超小型と高精度を同時に実現するのみならず高速化も同時に満足する変位計測エンコーダを開発することを目的とする。

## 1-1-2 研究開発の目標と実施内容

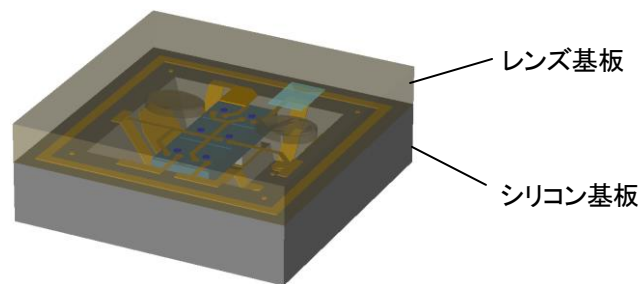
本研究開発期間の最終の技術的目標は下記のとおり。

### 【1】 A B Z 3相信号出力変位計測エンコーダの開発、評価

製品寸法 2.8mm×2.8mm×1.0mmでA B Z 3相信号出力の超小型・高精度・高速応答変位計測エンコーダを開発する。

A B Z 3相信号出力変位計測エンコーダの実用化開発は、シリコン基板、レンズ基板が組合わさった変位計測エンコーダセンサ部と回折格子の2要素の開発を主体とする。

変位計測エンコーダセンサ部イメージ図



#### 【1-1】 シリコン基板の開発

A B Z 3相信号用シリコン基板を開発する。シリコン基板は異方性エッチングでキャビティ構造を作成し、そのキャビティ内にサブマウントを介してボンディング加工で半導体レーザダイオードを搭載する。

シリコン基板には、レーザ光反射用のマイクロミラーを形成する。また、レンズ基板からの信号の受取りと初段増幅 I Cへの信号受渡しのための立体配線パターンと貫通電極を形成する。更にレンズ基板と接合し、気密を保持し一体化するための封止用パターンも形成する。

#### 【1-2】 レンズ基板の開発

A B相信号用と Z相信号用を兼用するレンズ基板を開発する。レンズ基板には、カスタム設計された非球面のマイクロレンズをフォトリソグラフィ技術で2個形成する。レーザの投光エリアの半分の光を波長の1/4ピッチ(A B 2相信号用)ずらすための位相シフトパターン、モニター用の光をフォトダイオードに入射させるための反射膜パターン及びフォトダイオードからの信号をシリコン基板へ受渡すための配線パターンを形成する。また、シリコン基板と接合し気密を保持し一体化するための封止用パターンを形成する。レンズ基板にはフォトダイオードアレイをボンディング加工により搭載する。

### 【1-3】回折格子の開発

Z相信号生成用パターン付の回折格子を開発する。変位計測エンコーダはロータリエンコーダとリニアエンコーダに使用されるため、回折格子もロータリエンコーダ用とリニアエンコーダ用の2種を開発する。回折格子は、熱膨張率が小さく高精度のパターン製作が可能な石英ガラス基板を使用し、基板上に回折格子パターンとZパターンをフォトリソグラフィ技術で形成する。ドライエッチング加工で試作を行い、量産時の安定した品質と低コストが見込める製作方法を検討して、開発を進める。

### 【1-4】低温接合技術活用試作装置の開発

試作した低温接合装置で低温接合の量産技術開発を進める。レーザダイオード、フォトダイオードのボンディング及びシリコン基板とレンズ基板の接合を低温接合装置で実施する。各デバイスの接合は、製品の歩留りと品質のばらつき、そして信頼性に大きな影響を与え、かつ製品コストも左右することから、低温接合技術を充分活用することにより、製品の歩留り、信頼性の向上を目指す。

### 【1-5】変位計測エンコーダの評価試験

試作した変位計測エンコーダの性能確認のため、以下の評価試験を実施する。

- ・出力信号評価試験
- ・応答速度評価試験
- ・取付け許容度評価試験（偏芯、面振れ）

また、エンコーダ組立前の段階では、各種デバイスの良否判定を含む評価試験を実施する。

- ・レーザダイオード：ビームプロファイル評価
- ・フォトダイオード：受光特性評価

これらの評価試験を実施することにより、各デバイス及び製品の品質、歩留り、コスト等の性能を見極める。

### 【2】高速応答の初段増幅ICの開発

変位計測エンコーダに直接接続できる初段増幅ICを開発する。変位計測エンコーダと直接接続することにより、出力信号の伝達回路の長さが大幅に短縮できる。信号伝達回路の短縮により出力信号に乗るノイズを大幅に減少できるため、高いS/N比の出力信号を実現できる。高いS/N比を得ることにより出力信号は高精度化するとともに、応答速度の高速化が実現できる。ICを搭載し変位計測エンコーダと直結するIC基板も同時に開発する。

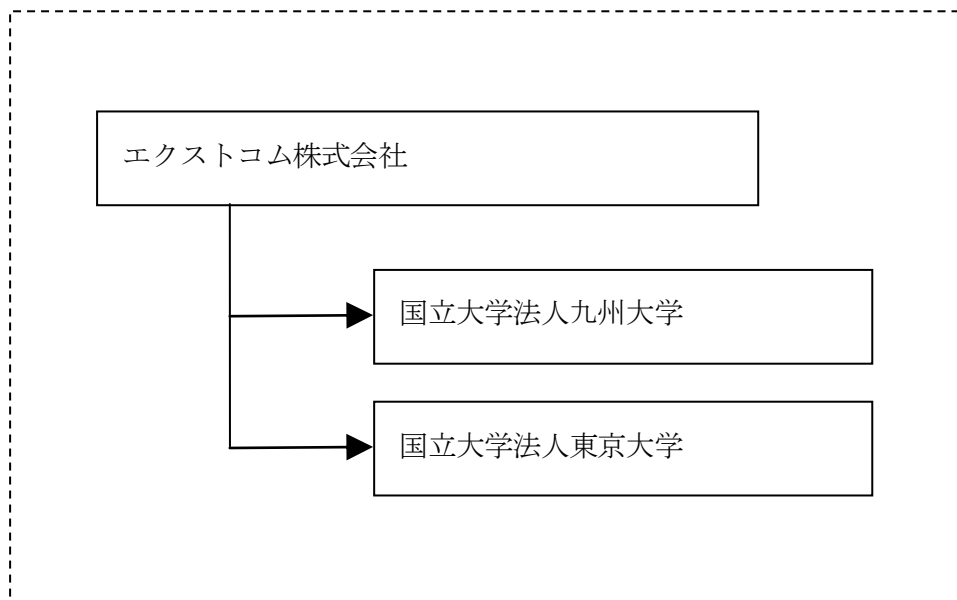
### 【3】エンコーダ応用製品試作

変位計測エンコーダの応用製品であるロータリエンコーダとリニアエンコーダの製品試作を実施し、変位計測エンコーダの完成度を評価する。

ロータリエンコーダは製品外形φ30mmで 40500P/R、リニアエンコーダは有効長5mmの実用的な仕様の製品を試作する。

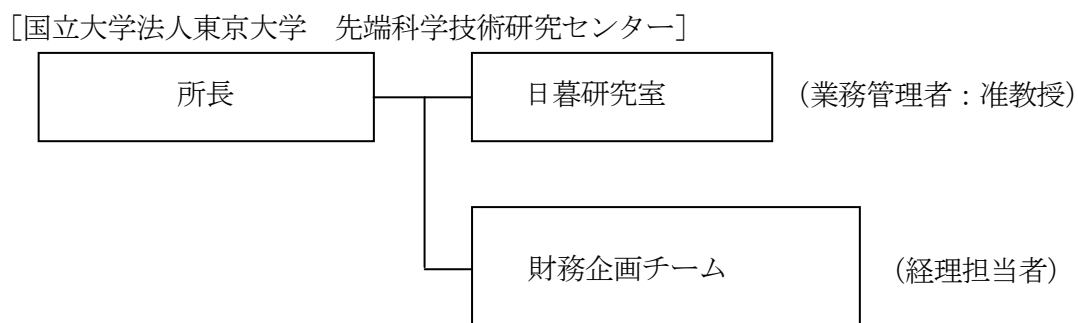
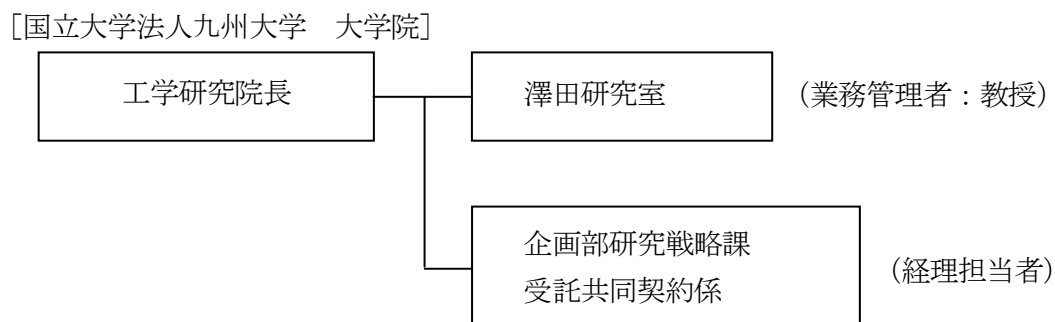
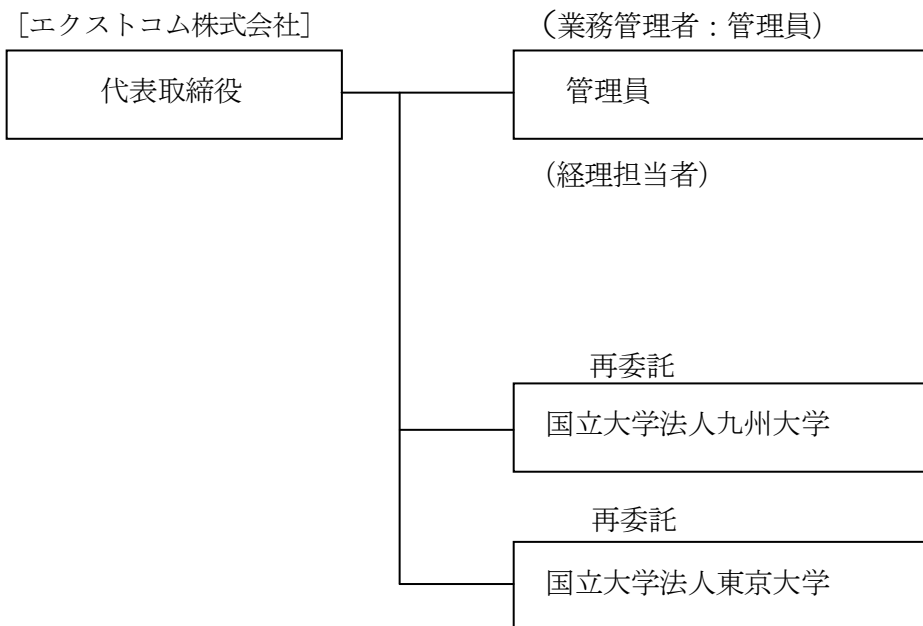
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1-2-1 研究組織



統括研究代表者（P L）  
エクストコム株式会社  
代表取締役 千野忠男

副統括研究代表者（S L）  
国立大学法人九州大学大学院  
工学研究院  
教授 澤田廉士





1-2-2 管理員及び研究員

【事業管理機関】 エクストコム株式会社

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
増田徹	管理担当 管理員	【4】
千野忠男	管理担当 管理員	【4】
岩田弘子	管理担当 管理員	【4】

② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
千野忠男	代表取締役	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【1-4】 【1-5】 【2】 【3】
山辺容子	研究員	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【1-4】 【1-5】 【2】 【3】

【再委託先】

(研究員)

国立大学法人九州大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
澤田廉士	国立大学法人九州大学大学院 工学研究院 教授	【1-5】

国立大学法人東京大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
日暮栄治	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 准教授	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【1-4】 【1-5】

### 1-3 成果概要

#### 【1】 ABZ3 相信号出力変位計測エンコーダの開発、評価

製品寸法 2.8mm×2.8mm×1.0mmでABZ3相信号出力の変位計測エンコーダを開発し分解能 1.6 $\mu$ mのABZ3相のアナログ信号出力とAB2相の矩形波信号出力を確認した。応答速度についても技術的目標値の5MHzを確認した。

#### 【1-1】 シリコン基板の開発

製品寸法 2.8mm×2.8mm×0.6mmに傾斜面を持つキャビティ構造を異方性エッチングで形成したシリコン基板を開発した。

シリコン基板のキャビティ構造内の傾斜面にはレーザ光反射用のマイクロミラーを形成した。またレンズ基板からの信号の受取りと初段増幅ICへの信号受渡しのための3次元立体配線パターンと貫通電極を形成し、さらにレンズ基板と接合し気密を保持し一体化するための封止用パターンも形成した。

マイクロミラーを形成し立体配線と貫通電極で配線パターンが形成されたシリコン基板に、サブマウントと半導体レーザダイオードを搭載したシリコン基板Assemblyを開発した。

#### 【1-2】 レンズ基板の開発

製品寸法 2.8mm×2.8mm×0.4mmのガラス基板にカスタム設計の非球面マイクロレンズを2個形成したAB相信号とZ相信号用を兼用するレンズ基板を開発した。

レンズ基板にはB相信号生成用の位相シフトパターン及びモニター用の光をフォトダイオードに入射させるための反射膜パターンそしてフォトダイオードからの信号をシリコン基板へ受渡すための配線パターンも形成した。またシリコン基板と接合し気密を保持し一体化するための封止用パターンも形成した。レンズ基板にフォトダイオードアレイを搭載し、レンズ基板Assemblyを開発した。

#### 【1-3】 回折格子の開発

エンコーダ応用製品試作用の23-20250ロータリ回折格子を開発した。

#### 【1-4】 低温接合技術活用試作装置の開発

試作開発した低温接合試作装置を使用して変位計測エンコーダのレンズ基板とフォトダイオードアレイの接合、シリコン基板とレーザダイオードの接合及びレンズ基板Assemblyとシリコン基板Assemblyの接合（パッケージング）を実施した。

#### 【1-5】 変位計測エンコーダの評価試験

試作した変位計測エンコーダの評価試験を実施した。評価試験は主に特性評価試験と機能評価試験で、特性評価試験はレーザ光のビームプロファイル評価、レーザダイオード、フォトダイオードの特性評価を実施した。機能評価試験は出力信号精度、応答速度等の評価試験を実施した。応答速度については技術的目標値の5MHzまで確認した。

## 【2】高速応答の初段増幅 I C の開発

製品寸法 3.8mm×6.0mm×2.0mmの超小型 I C 基板を開発し、初段増幅 I C と変位計測エンコーダを搭載し A B Z 出力を確認した。リニア用とロータリ用で評価し、高速応答についてはロータリ用で評価した。

## 【3】エンコーダ応用製品試作

変位計測エンコーダの応用製品であるロータリエンコーダとリニアエンコーダの製品試作を実施し、ロータリエンコーダは製品外形φ30mmで分解能 40500P/R、リニアエンコーダは有効長 8mmで分解能 0.4 μ m の製品を試作した。

ロータリエンコーダは分解能 40500 の A B 2 相のアナログ信号出力と矩形波信号出力を確認した。リニアエンコーダは分解能 1.6 μ m の A B 2 相のアナログ信号出力を確認した。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

会社名： エクストコム株式会社

所在地： 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 1-6-12 セドナビル

担当者： 代表取締役 千野忠男

TEL： 046-200-2011

FAX： 046-261-2117

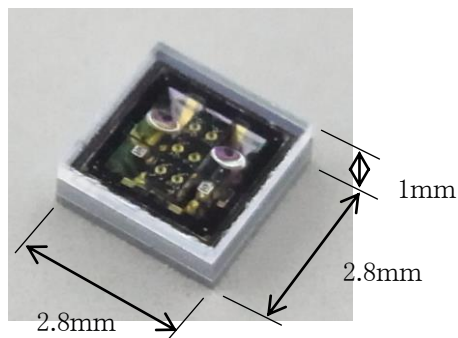
E-mail： chino@extcom.co.jp

## 第2章 本論

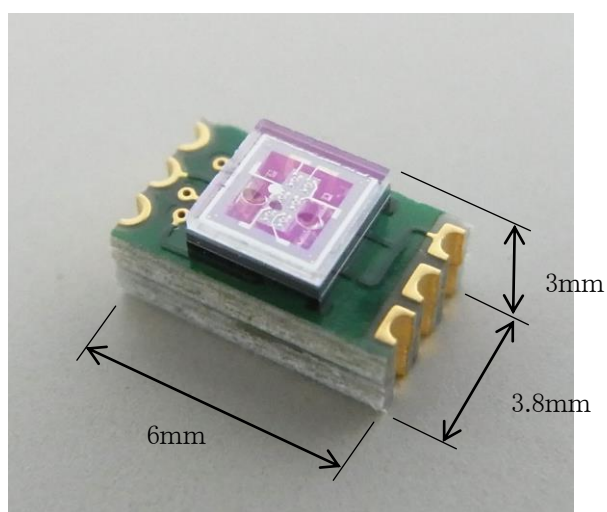
### 【1】 A B Z 3 相信号出力変位計測エンコーダの開発、評価

製品寸法 (2.8mm×2.8mm×1.0mm) の超小型で高分解能・高精度 A B Z 3 相信号出力の変位計測エンコーダを開発した。

開発した変位計測エンコーダ

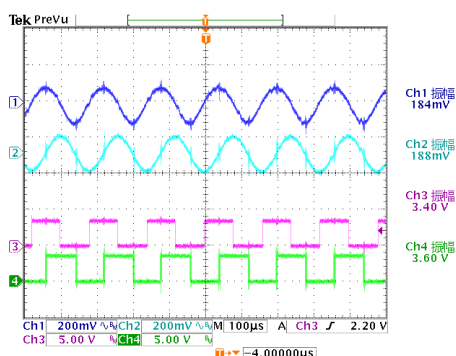


開発した変位計測エンコーダ (IC基板一体)



同時に開発した I C 基板は製品寸法が 3.8mm×6.0mm×2mm で、変位計測エンコーダと一体化した製品寸法は 3.8mm×6.0mm×3mm まで小さくすることができた。

開発した変位計測エンコーダを評価試験し分解能  $1.6\ \mu\text{m}$  の A B Z 3 相アナログ信号出力を確認した。



AB相アナログ信号出力

AB相矩形波信号出力

応答速度については技術的目標値の 5MHz 以上の 7.5MHz まで確認し、5MHz は実用的に使用可能であることを確認した。

### 【1-1】 シリコン基板の開発

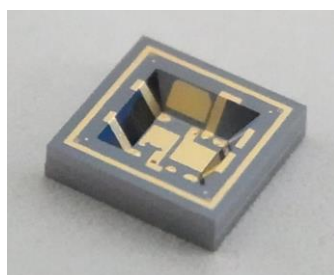
シリコンウェハに異方性エッチングでシリコン単結晶の 111 面を利用した傾斜した壁面を持つキャビティ構造を作り、そのキャビティ内にレーザダイオードを搭載した製品寸法  $2.8\text{mm} \times 2.8\text{mm} \times 0.6\text{mm}$  のシリコン基板 A s s y を開発した。

傾斜した壁面にレーザ光反射用のマイクロミラーを形成した。

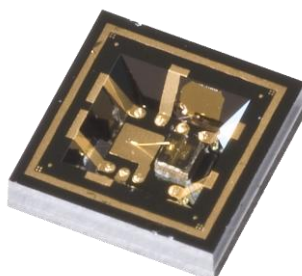
シリコン基板にはレンズ基板からの信号の受取りと初段増幅 IC への信号受渡しのための 3 次元立体配線パターン配置した。さらにレンズ基板と接合一体化し気密を保持するための封止用パターンを形成した。

シリコン基板には高さ調整と放熱用を兼ねたサブマウントと、半導体レーザダイオードをボンディングしたシリコン基板 A s s y を開発した。

シリコン基板(本体)

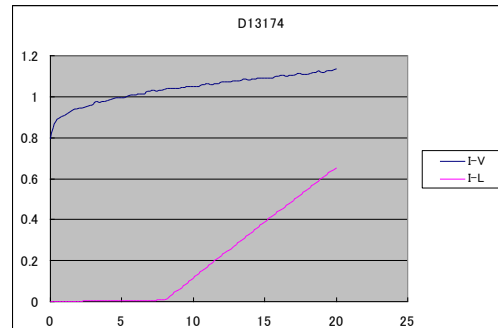


シリコン基板 Assy(半導体レーザ搭載)



シリコン基板へレーザダイオードを実装後、ボンディングによるレーザダイオードの劣化（ダメージ）を確認するため I-L 特性、I-V 特性評価を実施した。

#### レーザダイオードの I-L 特性、I-V 特性



サブマウントと、半導体レーザチップのボンディングは低温接合技術を活用した。

#### 【1-2】 レンズ基板の開発

ウェハ状のガラス基板にカスタム設計の非球面マイクロレンズを 2 個形成した製品寸法 2.8mm×2.8mm×0.4mmのレンズ基板を開発した。

非球面マイクロレンズはグレーマスクを使用したフォトリソグラフィ技術で形成した。

レンズ基板にはB相信号生成用の位相シフタパターン及びモニター用の光をフォトダイオードに入射させるための反射膜パターンを形成した。

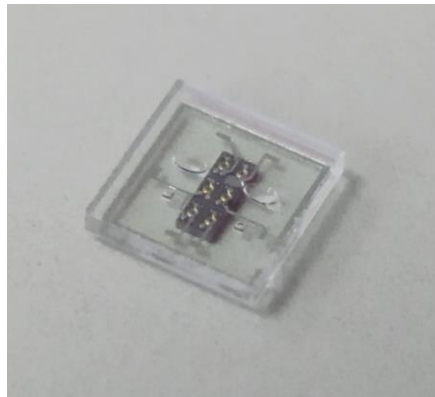
また、フォトダイオードからの信号をシリコン基板へ受渡すための配線パターン、そしてシリコン基板と接合し気密を保持し一体化するための封止用パターンをフォトリソグラフィ技術で形成した。

レンズ基板にフォトダイオードアレイをフリップチップボンディングしたレンズ基板 Assemblyを開発した。

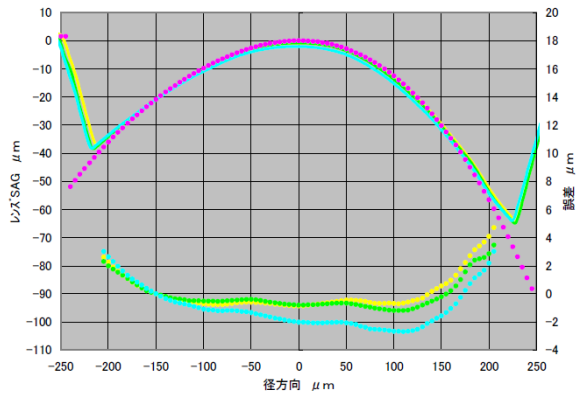
#### レンズ基板(本体、裏面)



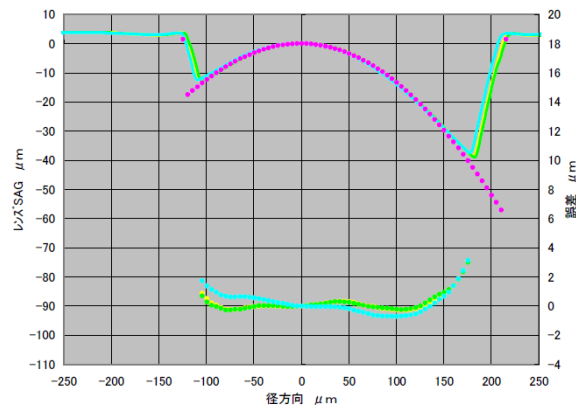
## レンズ基板 Assy(フォトダイオードアレイを搭載)



### 非球面マイクロレンズのレンズ形状と誤差



レンズ形状(長辺方向)



レンズ形状(短辺方向)

搭載したフォトダイオードアレイは長波長  $1.31 \mu\text{m}$  のレーザ光を検出するため素材は化合物半導体の InGaAs である。

フォトダイオードのフリップチップボンディングは低温接合技術を活用した。

フォトダイオードアレイの暗電流検査を全数実施した。

詳細は「【1-5】 9. フォトダイオードアレイの特性評価試験」を参照

### 【1-3】回折格子の開発

エンコーダ応用製品試作用の 23-20250 Z パターン付ロータリ回折格子とリニア回折格子の2種を開発した。

ロータリ回折格子は本年度開発のエンコーダ応用製品（回転）用に使用できるよう計画し、回折格子の外径サイズをφ22.5mm、分解能40500/1回転として開発した。

リニア回折格子はすでに製作済みの物（製品サイズ5mm×40mm）の評価を進めた。

回折格子は反射で使用するため表面に膜面強度が強いCr薄膜で反射膜を形成した。回折格子をエンコーダに実装前、単体で評価した。



ロータリ回折格子

エンコーダ応用製品(回転)用

外径: φ22.5mm

分解能: 40500

### 【1-4】低温接合技術活用試作装置の開発

試作開発した低温接合試作装置を使用してエンコーダ部品のボンディングを実施した。

- ・レンズ基板とフォトダイオードアレイの接合（フリップチップボンディング）
- ・レンズ基板Assyとシリコン基板Assyの接合（パッケージング）



低温接合技術活用試作装置



## 【1-5】変位計測エンコーダの評価試験

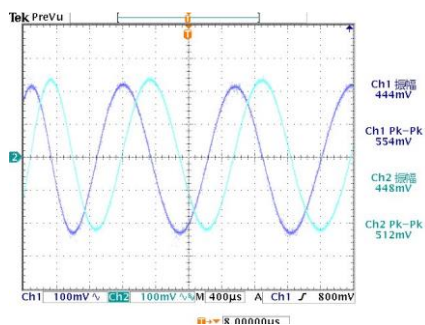
試作した変位計測エンコーダについて下記項目の評価試験を実施した。

1. 変位計測エンコーダのA B Z相出力信号波形評価
2. 変位計測エンコーダの応答速度評価
3. I C基板搭載エンコーダのA B相出力波形評価
4. エンコーダ応用製品のA B相出力波形評価
5. 面振れ量の出力波形への影響を評価
6. 偏心量の出力波形への影響を評価
7. 変位計測エンコーダのビームプロファイル評価
8. フォトダイオードアレイの特性評価試験
9. レーザダイオードの特性評価試験

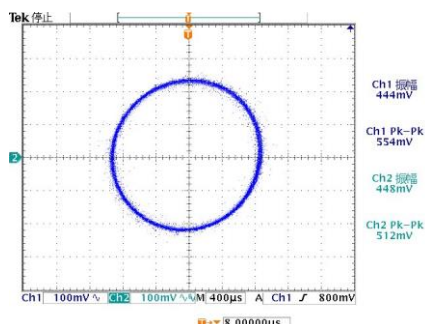
評価試験の内容

1. 変位計測エンコーダのA B Z相出力信号評価

A B相は出力信号のアナログ波形とリサージュ図形の形状で評価した。



AB相アナログ信号



リサージュ図形

2. 変位計測エンコーダの応答速度評価  
変位計測エンコーダの応答速度を評価した。  
応答速度は出力信号のアナログ波形とリサージュ図形の形状及びアナログ波形のP-P値で評価した。  
応答速度は7.5MHzまで確認し、技術的目標値の5MHzは達成した。
3. IC基板搭載エンコーダのAB相出力波形評価  
初段増幅ICを評価するためIC基板搭載エンコーダのAB相出力波形評価を実施した。評価の結果、初段増幅ICの増幅回路が機能していることを確認でき、応答速度は技術的目標値の5MHzまで確認できた。
4. エンコーダ応用製品のAB相出力波形評価  
エンコーダ応用製品の完成度を確認するためAB相出力波形の評価を実施した。  
評価の結果、デモ機及び評価用サンプルとして活用を目指せるレベルであることを確認した。
5. 面振れの出力波形への影響を評価  
面振れの出力波形への影響を評価した。その結果、面振れの許容量は $10\mu\text{m}$ 程度であることが確認された。
6. 偏心の出力波形への影響を評価  
偏心の出力波形への影響を評価した。その結果、偏心の許容量は $10\mu\text{m}$ 程度であることが確認された。
7. 変位計測エンコーダのビームプロファイル評価  
変位計測エンコーダのレーザー光の強度分布を評価した。  
レーザー光の強度分布とAB相出力波形は相関関係があるため、今後、評価データ数を増やし相関関係を明確にし、製品化の歩留り向上のための裏付け資料を作成する。
8. フォトダイオードアレイの特性評価試験  
フォトダイオードアレイの特性評価試験として暗電流検査を全数実施した。  
検査はフォトダイオード単体（実装前）とレンズ基板への実装後（フリップチップボンディング後）に実施し、暗電流の変化を確認した。
9. レーザダイオードの特性評価試験  
シリコン基板へレーザーダイオードを実装後、ボンディングによるレーザーダイオードの劣化（ダメージ）を確認するためI-L特性、I-V特性評価を実施した。

評価試験用に複数の評価用治具を開発した。

1. プラズマ照射治具
2. 面振れ検査治具
3. 光軸検査治具
4. 応答速度検査治具

開発した評価用治具の内容

1. プラズマ照射治具

低温接合の前処理のプラズマ処理に使用するプラズマ照射治具を開発した。

超小型の変位計測エンコーダの部品を簡易にプラズマ処理するため、小型のペン型大気圧チッ素プラズマ装置を採用した。

2. 面振れ検査治具

回折格子の面振れ量を検査する治具を開発した。

3. 光軸検査治具

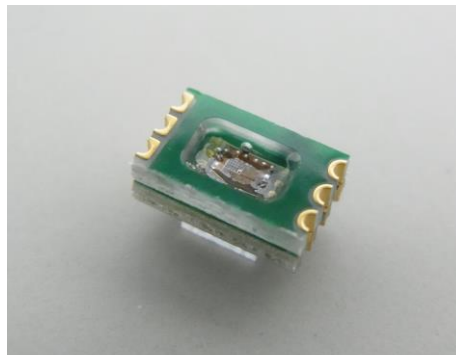
変位計測エンコーダのレーザ光を評価する治具を開発した。

4. 応答速度検査治具

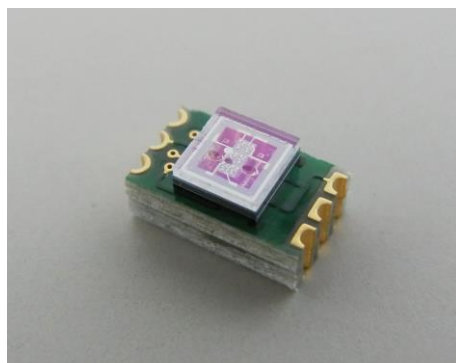
5MHz 以上の応答速度に対応した変位計測エンコーダ信号の検査治具を開発した。

## 【2】高速応答の初段増幅ICの開発

製品寸法 3.8mm×6.0mm×2.0mmの超小型IC基板を開発し、初段増幅ICと変位計測エンコーダを搭載しABZ出力を確認した。リニアスライド治具とエンコーダ回転治具で評価した。



IC基板（裏面）  
初段増幅ICを搭載



IC基板（表面）  
変位計測エンコーダを搭載

変位計測エンコーダを搭載したIC基板を評価するため実験基板を製作した。  
高速応答についてはエンコーダ回転治具で評価し、技術的目標値の5MHzまで確認できた。

### 【3】エンコーダ応用製品試作

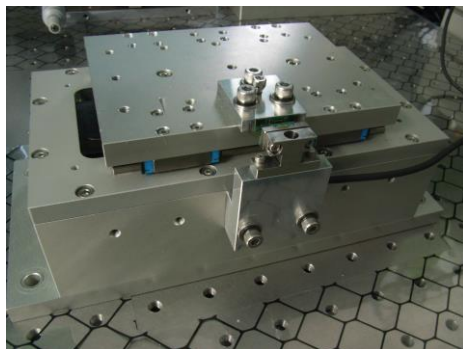
変位計測エンコーダの応用製品であるロータリエンコーダとリニアエンコーダの製品試作を実施し、ロータリエンコーダは製品外径  $\phi 30\text{mm}$  で分解能 40500P/R、リニアエンコーダは有効長 8mm で分解能  $0.4\mu\text{m}$  の製品を試作し評価した。

ロータリエンコーダは分解能  $1.6\mu\text{m}$  の AB2 相のアナログ信号出力と矩形波信号出力確認した。リニアエンコーダは AB2 相のアナログ信号出力を確認した。



応用製品試作(外観)  
(ロータリエンコーダ)

製品外径:  $\phi 30\text{mm}$   
分解能: 40500



応用製品試作  
(リニアエンコーダ)

## 最終章 全体総括

今回の研究開発で変位計測エンコーダの試料数を多く用意できたため、製品化のための有効なデータ取りが可能となり、開発が進展し、課題も明確になった。

いくつかの課題はあるが、研究開発で試作した製品についてはサンプル貸出しが可能なレベルと思われ、また、すでにホームページや展示会で開発製品を紹介しており、問合せもいただいているので、本年7月の展示会までに貸出しサンプルを準備したい。

### 研究開発の内容と成果

#### 【1】 A B Z 3相信号出力変位計測エンコーダの開発、評価

A B Z 3相信号を出力する変位計測エンコーダが開発できた。

#### 【2】 高速応答の初段増幅 I Cの開発

初段増幅 I Cのプロトタイプを開発することができ、応答速度は技術的目標値の5MHzまで確認できた。

#### 【3】 エンコーダ応用製品試作

変位計測エンコーダの応用製品であるロータリエンコーダとリニアエンコーダの製品試作を実施し、ロータリエンコーダは製品外形φ20mmで分解能20250P/Rと製品外径φ30mmで分解能40500P/Rの2種、リニアエンコーダは有効長8mmで分解能0.4μmの製品を試作した。

### 今後の課題

研究結果は、ほぼ当初の予定どおりとなったが、課題も明確になった。今後、下記課題の解決をめざし、研究開発を進める。

1. 部品品質のばらつき
2. 組立て精度のばらつき
3. 部品コスト高

などがあげられる。各課題に対し解決策を立案し早期の解決をめざす。

### 事業化について

本年7月の展示会までに貸出しサンプルを準備し、希望するユーザに評価用サンプル製品の貸出しを実施する。同時に展示会への出展を積極的に行い、製品をPRする。ホームページ及び展示会で市場調査を進め、事業化計画をブラッシュアップしていく。