

## 令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号           23901  
 研究開発課題名   短距離超高速光ファイバリンクのための超高速並列レーザ光源技術の研究開発  
 副           題       短距離超高速光ファイバリンクのための超高速面発光レーザアレイの研究開発

## (1) 研究開発の目的

超高速かつ拡張性に優れ、大規模 2 次元集積可能な面発光レーザをベースとする光トランシーバを実現するため、従来の半導体レーザの直接変調帯域の速度限界を打破する新規構成法を探索し、チャンネル（1 素子）当たり 200 Gbps 以上の高速化を実現するとともに、高密度集積（並列化）を可能とするレーザ特性の高均一・高品質化を行い、アレイ集積による 10 Tbps 級超並列・高速面発光レーザ実現への道筋を明らかにすることを目的とする。

## (2) 研究開発期間

令和 6 年度から令和 7 年度（2 年間）

## (3) 受託者

国立大学法人東京科学大学＜代表研究者＞  
 富士フイルムビジネスイノベーション株式会社

## (4) 研究開発予算（契約額）

令和 6 年度から令和 7 年度までの総額 200 百万円（令和 6 年度 100 百万円）  
 ※百万円未満切り上げ

## (5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 超高速レーザ光源の研究開発（国立大学法人東京科学大学）

- 1-1. レーザ光源の高速化技術の研究開発
- 1-2. 超高速レーザ光源を用いた超高速光ファイバ伝送技術の研究開発
- 1-3. 超高速レーザ光源を用いたトランシーバ実装評価の実施

研究開発項目 2 大規模・高均一並列レーザ光源の研究開発（富士フイルムビジネスイノベーション株式会社）

- 2-1. 並列レーザ光源の大規模・高均一化技術の研究開発
- 2-2. 並列レーザ光源の低消費電力化技術の研究開発
- 2-3. 並列レーザ光源の低損失光ファイバ結合技術の研究開発

## (6) 特許出願、外部発表等

|       |            | 累計（件） | 当該年度（件） |
|-------|------------|-------|---------|
| 特許出願  | 国内出願       | 0     | 0       |
|       | 外国出願       | 0     | 0       |
| 外部発表等 | 研究論文       | 0     | 0       |
|       | その他研究発表    | 3     | 3       |
|       | 標準化提案・採択   | 0     | 0       |
|       | プレスリリース・報道 | 0     | 0       |
|       | 展示会        | 0     | 0       |
|       | 受賞・表彰      | 1     | 1       |

## (7) 具体的な実施内容と成果

### 研究開発項目 1 超高速レーザ光源の研究開発

#### 1-1. レーザ光源の高速化技術の研究開発

代表研究者の創案による金属開口を有する結合共振器面発光レーザで、以下の方針で高速化を進めた。

A) 半導体表面を浅くエッチングする Surface Relief 構造による横方向光結合の増強

B) 厚膜層間絶縁膜導入による浮遊容量を低減する構造の導入

C) 活性領域の歪量子井戸構造の歪み量増大と量子井戸数増大による微分利得向上による緩和振動周波数増大

令和 6 年度は、3 インチ、6 インチの金属開口を有する 1060nm 帯結合共振器面発光レーザウェハの設計・調達を進め、共同研究者である富士フイルムビジネスイノベーション社を含む外部ファンダリを活用して、3 インチ、6 インチフルウェハプロセスによる超高速面発光レーザの製作を行った。

しきい値電流値 1mA、光出力 3mW 以上、サイドモード抑圧比 50dB の良好な単一モード特性を実現するとともに、-3dBo の変調帯域として 45GHz の面発光レーザとしては、世界最速の値を実現した。さらに、電気段の入力信号に Pre-equalization、受信側に TDECQ Equalizer を使うことで、NRZ 110Gbps, PAM4 200Gbps のアイ開口を観測した。

#### 1-2. 超高速レーザ光源を用いた超高速光ファイバ伝送技術の研究開発

当初実施計画からの前倒しで、1-1 で試作した素子を用いて、機構の自主研究と連携し、信号処理技術や光ファイバアレイとの低損失結合技術を適用することにより、試作した素子の光ファイバ伝送を実施し、受信側で線形の DSP (FFE) を用いて、長さ 500m の単一モードファイバ伝送後 200Gbps (PAM4)、非線形 DSP を用いて長さ 2 km の単一モードファイバ伝送後 200Gbps (受信信号の符号誤り率が前方誤り訂正しきい値 (7%) 以下) のアイ開口を得た。伝送レート・距離積は、400Gbps・km に達し、通常の 850nm VCSEL とマルチモードファイバによる光リンクに比べて 40 倍以上の拡大を実現した。

### 研究開発項目 2 大規模・高均一並列レーザ光源の研究開発

#### 2-1. 並列レーザ光源の大規模・高均一化技術の研究開発

6 インチウェハプロセス開発を開始するため、高速動作に必要な発光部サイズ等のチップ設計を行い、プロセスに必要なフォトマスクを作製した。また、プロセス条件確認を進めるため、6 インチ面発光レーザウェハの結晶成長を行った。以前よりもウェハサイズを大きくしたことでウェハ反りが増加しプロセスを進める上で問題となったため、ウェハ反りを低減する工程を導入したプロセス設計を実施した。作製したフォトマスクを用いて、6 インチ面発光レーザウェハの半導体エッチング工程のプロセス条件確認を行い、ウェハ反り低減工程を導入したプロセスフローで、チップパターンが正常に形成されることを確認した。

面発光レーザの高速動作には、ウェハの活性層品質が重要となるため、活性層に適用する高歪 GaInAs/GaAs 量子井戸構造の成長条件出し実験を進めた。3 種の活性層膜厚構造を設計し、フォトルミネッセンス (PL) の発光強度、PL スペクトルの半値全幅の観点から、今後のベースとなる活性層構造を選択した。

## (8) 今後の研究開発計画

### 研究開発項目 1 超高速レーザ光源の研究開発

#### 1-1. レーザ光源の高速化技術の研究開発

結合共振器を用いた超高速面発光レーザの高速化設計を確立し、既存技術の限界を打破する変調帯域 50 GHz 以上、変調速度 200 Gbps 以上を実証する。さらに、400 Gbps 級の変調速度を目指し、PAM6, PAM8 などのより多値度の高い多値変調や信号処理技術等を適用した高速化試験を実施し、直接変調の変調速度限界を明らかにする。

#### 1-2. 超高速レーザ光源を用いた超高速光ファイバ伝送技術の研究開発

機構の自主研究との連携により、信号処理技術を適用することにより、変調速度 200 Gbps 以

上、距離 2 km 以上の単一モード光ファイバ伝送（受信信号の符号誤り率が前方誤り訂正しきい値（7%）以下）を実証し、高速化・伝送距離延伸の限界を明らかにする。

#### 1-3. 超高速レーザ光源を用いたトランシーバ実装評価の実施

研究実施協力者を含む国内外のトランシーバメーカー等と連携し、開発した超高速・低消費電力レーザ光源をトランシーバに実装し、高速性や消費電力の適性を確認するとともに、特性改善のフィードバックを進める。また、トランシーバメーカー等が開発した超高速レーザアレイ光源の特性や伝送特性等を提供するなど、社会実装を推進する活動を行う。

### 研究開発項目2：大規模・高均一並列レーザ光源の研究開発

#### 2-1. 並列レーザ光源の大規模・高均一化技術の研究開発

6 インチウェハプロセスで面発光レーザアレイを試作し、チップ面積  $2\text{mm}^2$  以下に 32ch 以上を配置した小型高密度並列レーザ光源を実現する。試作した面発光レーザアレイの電気光学特性および変調特性を評価し、変調速度 200Gbps/ch 以上、サイドモード抑圧比 30dB 以上の単一モード発振動作を実証する。

#### 2-2. 並列レーザ光源の低消費電力化技術の研究開発

消費電力への寄与度の大きい駆動電流は、面発光レーザチップ設計の複数の構造パラメータによって制御される一方で、各構造の製造ばらつきが結果的にチャンネル毎の特性ばらつきを引き起こす。そのため、チャンネル毎の特性ばらつきを抑制するように、各構造の設計パラメータの組み合わせを最適化し、エネルギー消費効率 100fJ/bit 以下の低消費電力動作を実証する。

#### 2-3. 並列レーザ光源の低損失光ファイバ結合技術の研究開発

情報通信研究機構の自主研究グループと連携し、情報通信研究機構の有する、200Gbps 以上に拡張可能な高速変調技術・信号処理技術、単一モード光ファイバアレイとの低損失結合技術を用いて、試作した面発光レーザアレイの光ファイバ接続損失 3dB 以下、数 Tbps を超える通信容量可能性を示す。