

# 位置決めレーザ干渉計用波長安定化半導体レーザと フォトダイオードアレイ

## Wavelength Stabilized Laser Diodes and Photodiode Arrays for Laser Interference Positioning Systems

平田 隆昭<sup>\*1</sup> 日原 衛<sup>\*1</sup> 永山 英樹<sup>\*2</sup>  
HIRATA Takaaki HIHARA Mamoru NAGAYAMA Hideki

レーザ干渉計用光源として波長安定化半導体レーザを、受光素子としてフォトダイオードアレイを開発した。これによりレーザ干渉計のダウンサイジングが可能となり、従来限られていたレーザ干渉計の応用範囲を拡大することができた。レーザ干渉計の光源には、単一モード発振、狭スペクトル線幅、波長の長期安定性が特に要求される。これらの特性を実現するため、光共振器内に回折格子を持つ長共振器構造を採用し、20000時間以上の動作試験で長期安定性を確認した。高感度、高速応答が要求されるフォトダイオードアレイには、18素子のPN接合型シリコンフォトダイオード構造を採用した。本稿では、開発した半導体レーザとフォトダイオードアレイについて報告する。

We have developed wavelength stabilized laser diodes for light sources of laser interference positioning systems and photodiode arrays for photodetectors. These devices make the laser interference system downsized, and then it allows the extension of system application range. A single-mode oscillation, narrow spectral linewidth and long-term wavelength stability are especially required for the light sources of laser interference positioning systems. In order to realize these requirements, we have employed the long-cavity structure with diffraction gratings in the cavity. The long-term stability was confirmed by performance tests of 20000 hours or more. We have employed eighteen elements p-n junction silicon photodiode structure for photodiode arrays of high sensitivity and fast response. This paper describes the newly developed photonic devices.

### 1. はじめに

半導体製造装置を始めとする精密加工装置におけるステージの移動量測定や位置制御には、レーザ干渉計やリニアスケールが用いられている。特にレーザ干渉計は高精度、非接触測定、設置が容易といった特長を持っている。一般にレーザ干渉計は波長を安定化したヘリウム-ネオンレーザを使用しており、数十メートルの測長範囲においてナノメートルオーダーの分解能を持っている。しかし、センサとしては大型で高価であり、その用途は数億円クラスの装置への組み込み用、または品質管理用の基準器に限られていた。

今回、我々は半導体レーザを光源に用い、参照光と測定光の光軸を僅かにずらして、発生させた干渉縞をフォトダイオードアレイで受光する干渉光学系を採用することにより、小型で低価格なレーザ干渉計を開発した。こ

れにより、サブミクロンオーダーの測定や制御を手軽に行うことができる。本稿では、レーザ干渉計のキーデバイスである半導体レーザと、フォトダイオードアレイについて報告する。

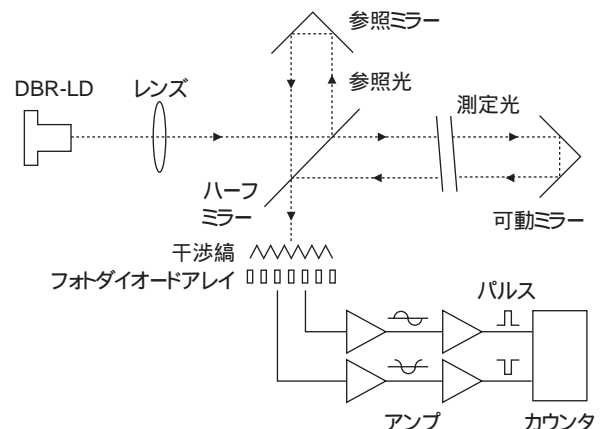


図1 干渉光学系

\*1 R&Dセンター 光デバイス研究室

\*2 R&Dセンター デバイスPJTセンター

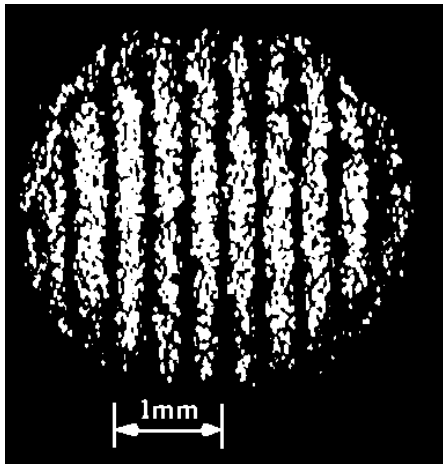


図2 干渉縞

## 2. 干渉光学系

光学系には単一波長光源とマイケルソン型干渉計を用いている。図1に光学系を示す。半導体レーザからの出力光は、ハーフミラーで測定光(透過光)と参照光(反射光)に分岐され、それぞれ可動ミラーと参照ミラーで反射され、フォトダイオードアレイに導かれる。本光学系では、参照光が測定光に対して僅かな角度をもってフォトダイオードアレイに入射するように、参照ミラーを調整してある。その結果、フォトダイオードアレイ上では図2に示すような干渉縞が発生する。可動ミラーがレーザ光波長の $\frac{1}{2}$ の距離を移動すると、この干渉縞は1周期横に移動する。また、可動ミラーの移動方向と干渉縞の左右の移動方向が対応する。フォトダイオードアレイの間隔は干渉縞の周期に対応しており、位相の反転したフォトダイオード間の信号を演算することで信号の直流

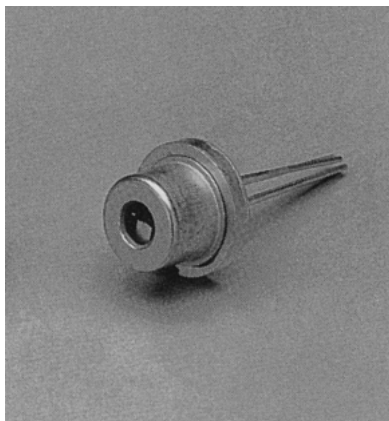


図3 DBR-LD

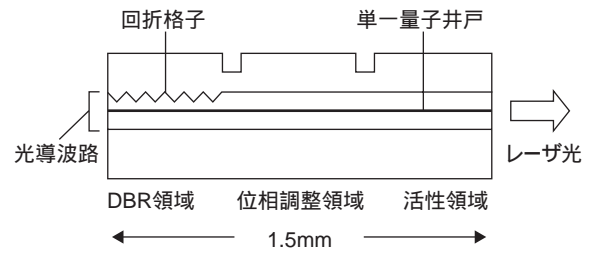


図4 DBR-LDの構造

成分を除去し、確実なパルス化を行うことができる。また、90度位相が異なるフォトダイオード間の信号を比較することで、移動方向を判別することができる。

## 3. 波長安定化半導体レーザ

レーザ干渉計の光源には、単一モードで発振すること、スペクトル線幅が狭いこと、波長が長期に亘り安定であることが特に要求される。これらの特性を実現するため、GaAs系DBR(Distributed Bragg Reflector)-LD(Laser Diode) (図3)を自社開発した。図4にDBR-LDの構造を示す。開発したDBR-LDは活性領域、位相調整領域、DBR領域の各部分に電極を形成した3電極構造と成っている。3電極構造では、位相調整領域とDBR領域の注入電流で発振波長をチューニングすることも可能である。作製プロセスやチューニング特性については既に報告<sup>1)</sup>しているので、ここでは設計上のポイントとレーザ干渉計への応用で、特に重要となる特性について述べる。

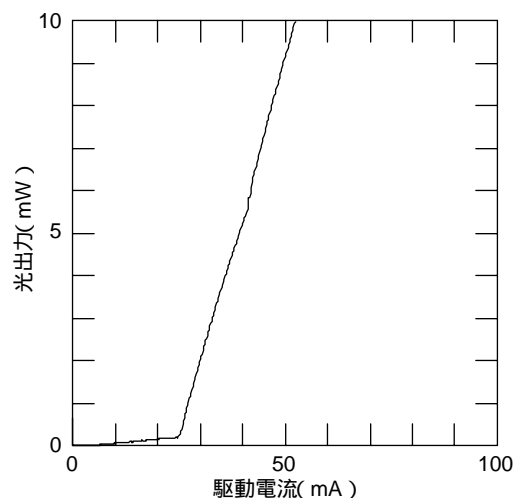


図5 駆動電流対光出力特性

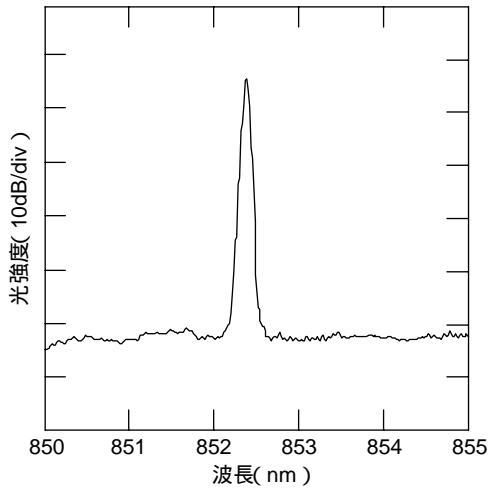


図6 発振スペクトラム

光ディスク等で用いられるファブリ・ペロー型LDは、通常多モードで発振し、干渉計用光源には使用できない。安定な単一モード発振を得るため、LD共振器内に回折格子を有するDBR-LD構造を採用した。スペクトル線幅狭小化には、LD特有の線幅増大係数の低減と共振器損失の低減が有効である。線幅増大係数と共振器損失を低減するため、活性層に単一量子井戸を用いた。更に共振器損失を低減するため、1次回折格子と量子井戸構造の無秩序化による光導波路の低損失化構造を採用し、共振器長を1.5 mmと通常の約5倍の長共振器構造とした。

DBR-LDの駆動電流対光出力特性を図5に、出力5 mW時の発振スペクトルを図6に、光出力対スペクトル線幅特性を図7に示す。出力5 mWで40 dB以上のサイドモード抑圧比と1 MHz以下のスペクトル線幅が得られている。スペクトル線幅は通常のLDの数分の1と狭く、

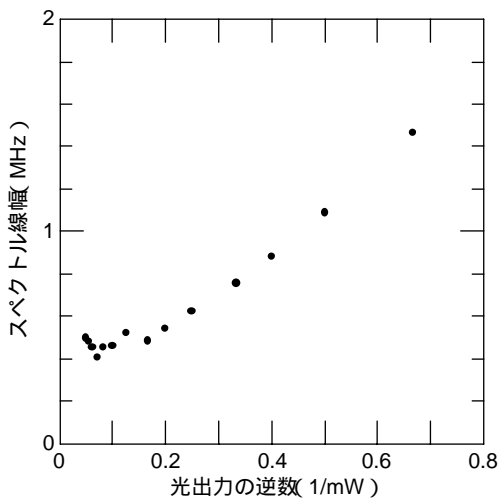


図7 光出力対スペクトル線幅特性

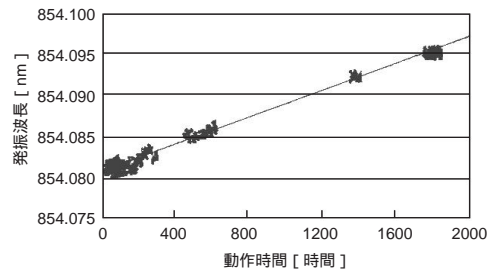


図8 CuシステムにボンディングしたLDの発振波長ドリフト特性

ヘリウム-ネオンレーザには及ばないが数mの測長距離への応用には十分な値である。

最後に、DBR-LDの長期動作特性について述べる。LDの長期安定性に関しては、LD素子の高信頼性化だけでなく、実装形態も重要な課題となる。LDをCuのシステムにボンディングした場合の発振波長の時間変化を図8に示す。図中で測定点のない部分はLDを動作させず単に保存している時間である。動作の有無に因らず波長がドリフトすることから、ボンディング時の歪みが時間と共に緩和しLDの共振器長が変化すると考え、このドリフトを抑えるため、GaAsと膨張係数を合わせ込んだCuWをシステムに用いることとした。改善後の波長ドリフト特性

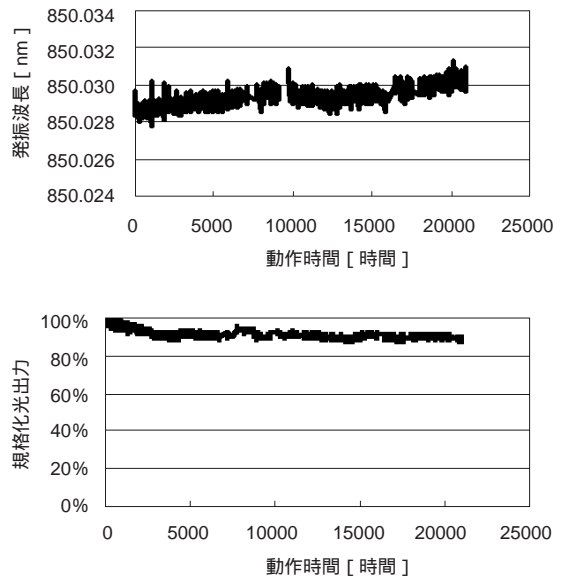


図9 CuWシステムにボンディングしたLDの発振波長と光出力ドリフト特性

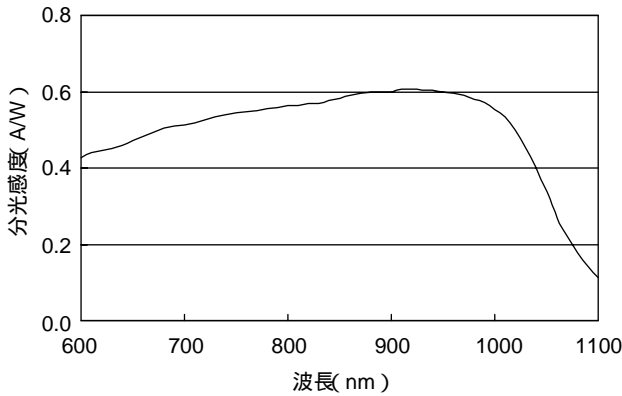


図10 分光感度特性

を、光出力劣化特性と共に図9に示す。20000時間を超えて試験継続中であるが、光出力劣化は10%、波長ドリフトは2pmと、レーザ測長器への応用上十分な安定性を示している。

#### 4. フォトダイオードアレイ

レーザ干渉計用フォトダイオードには、高い感度、速い応答速度が特に要求される。これらの特性を実現するために、自社の半導体プロセスを用いて18素子のシリコンフォトダイオードアレイを開発した。

##### (1) 感度

受光部は感度を高くするため、実績のある酸化膜と窒化膜の2層構造の反射防止膜<sup>(2)</sup>を採用した。分光感度特性を図10に示す。

##### (2) 応答速度

一般的に、応答速度の速いフォトダイオードとしてPIN型フォトダイオードが用いられるが、使用条件と応答速度の要求仕様を検討した結果、N型の高抵抗 (> 1000 cm)基板を用いることで安価に製作できるPN接合型フォトダイオード<sup>(2)</sup>を採用した。

##### (3) 実装

パッケージはTO-5金属パッケージを採用した。カソード電極は直列抵抗を低減するためチップ裏面よ

表1 フォトダイオードアレイの特性

項目	条件	Typ. 値
暗電流	$V_R=12\text{ V}$	4.14 nA
受光感度	$\lambda=850\text{ nm}$	0.57 A/W
感度ばらつき	$\lambda=850\text{ nm}$	0.82%
接合容量	$V_R=12\text{ V}$	4.53 pF
応答速度	$R_L=51$	0.31 $\mu\text{s}$
遮断周波数	100 kHz基準 -3 dB	6.8 MHz

り取出している。

##### (4) 信頼性

信頼性を確認するために連続動作(125 ,  $V_R=12\text{ V}$ , 1000時間), 低温放置(-40 , 1000時間), プレッシャークッカー(121 , 100%RH, 96時間)等の信頼性試験を行った。いずれの試験も暗電流の増加はなく良好な結果を得た。

今回開発したフォトダイオードアレイの特性を表1に示す。製作プロセスは他のフォトダイオードアレイにも採用しているプロセスと共通化を図った。パッシベーション保護膜は、COB(Chip on Board)化にも対応可能な2層構造を採用している。

#### 5. おわりに

レーザ干渉計のダウンサイジングを目的に波長安定化半導体レーザとフォトダイオードアレイを開発し、レーザ干渉計で要求される性能を持つことを確認した。今後、レーザ干渉計の応用分野を拡大するため、開発を更に続けていく予定である。

#### 参考文献

- (1) T. Hirata, M. Maeda, M. Suehiro, H. Hosomatsu, "Fabrication and Characteristics of GaAs-AlGaAs Tunable Laser Diodes with DBR and Phase-Control Sections Integrated by Compositional Disordering of a Quantum Well", IEEE J. Quantum Electron., vol. 27, no. 6, 1991, pp.1609-1615.
- (2) 山崎勉, 横山浩二, 河合真弓, 羽田聖治, "高速光検出素子", 横河技報, vol. 37, no. 1, 1993, p. 7~10