# 自動車ライダを実用に近づける モノリシック多チャネルレーザ

アン・ラッセル、ヨチェイ・ダンジガー

**4チャネルレーザと超高速ドライバが、ピークパワー480Wを超える2nsパルスを出力。**

今日のほぼすべての自律走行車の背後にある推進力は、特別なハイパワーレーザ駆動ライダ（光検知測距）システムである。ライダは、赤外レーザを特徴としており、周辺環境のリアルタイム、3D画像を作ることで自律走行車の進路を決める。パルスレーザは、シングルピクセルセンサ、あるいは飛行時間法（TOF）カメラを使うハイパワーレーザフラッシュ照明と同調して3D画像生成に利用される。システムは、自律走行車から対象物へ、また車輌に戻るレーザ光の伝搬時間を計測する。

レーザパワーの増加により、3Dマップはより多くの物体や背景を一層長い距離からとらえることができる。この点は、ライダメーカーにとって魅力的な特徴である。しかし、アイセーフティが一番の関心事であるので、極短パルスが重要である。高速パルス（1秒に100万回以上）でデータポイントが増加し信号品質が向上する。信号対雑音比（SNR）は平方根に比例する、その結果、高速の立上り立ち下がり時間が重要である。先頃、米オスラム社（Osram）と加GaNシステムズ社（GaN Sysems）は共同で、チャネルあたり120Wのライダレーザパワーを発売した。これは、4チャネルSMTパッケージで、ピークパワーは>480W、約2ns半値全幅（FWHM）パルス、<1ns立上り立ち下がり時間である（**図1**）。

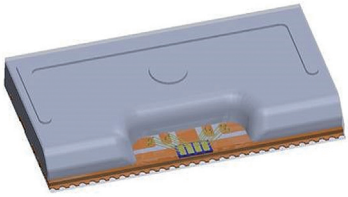

**図1**　この905nm4チャネル表面実装レーザはピークパワー>480W

## 905nmモノリシック定間隔の理由

ライダの進化に伴い、2つの重要な主要波長が現れた。905nmと1550nmである。両方とも強みがある。905nmはCMOSあるいは他のシリコンディテクタで検出可能であり、その結果、コストと複雑さが大幅に低減される。シリコン光電増倍管（SiPMs）、また最終的にはInGaAsディテクタが、一般に1550nmのディテクタに使用されるが、自動車品質認定で必要とされる温度105℃が現在の大きな課題である。アイセーフティの懸念は、1550nmでは大幅に低減される。とはいえ、先頃CES2019[1]で見られたように、コンシューマーDLSR（Digital Single Lens Reflex）カメラのセンサダメージが観察された。これが起こったのは、一般的なキロワットレベルの光エネルギーを使っている時である。エネルギーレベルは、まだ低すぎる、というのは、もっと高いエネルギー密度に達するために必要とされるトリプルジャンクション構成は、そのワイドバンドギャップ結晶構造ではまだ実行されていないからである。自律運転環境（**表1**）[2]の一部である霧、雪、雨には、1550nmでは光パワーの高吸収も観察される。また、多チャネルレーザが非常に望ましい。個別に発振する8個のレーザを利用すると、分解能1%、つまり15cmステップとなる。それに対して、最小振幅とダイナミックレンジは、1ns TOF利用で、約18dBである。明らかに、ナノ秒パルスの905nm多チャネルハイパワーライダレーザの利用に大きな優位性がある。

オスラム社の905nm表面実装チップは、4個の個別InGaAs/GaAs歪量子井戸レーザのモノリシックアレイ。これは個別にも、同時にも駆動でき、V-溝で分離されているので、アレイ内で光クロストークは存在しない。同時駆動時には、4チャネル出力は、統合して1個のハイパワー480Wレーザパルスのようになる（**図2**）。フォトダイオード応答R（λ）の定義は、入射光パワー（$P_{Light}$）に対する光電流発生率（IDP）である。ここでは、入射パルス幅計測にInGaAsフォトディテクタ（Thorlabs DET08）を使用。所定波長で入射光パワーは、次のように定義されている。

$$P_{Light} = I_{DP} \, x \frac{1}{R(\lambda)}$$

ジュールで計測した光パワー（パルスあたり光エネルギー量は、Ophir PD10-Cを用いて、～1.2μJ）および図2（FWHMで、～2ns）で以前に見た波形の利用により、ピークパワーは、以下の式で計算できる。

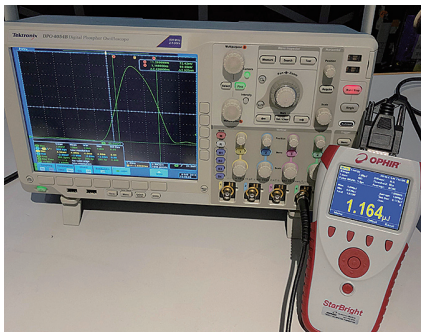


図2　GaNシステムによるハイパワーレーザドライバで、オスラム社のレーザの全4チャネルからのピーク光出力は、同時発振時480Wが可能である。

$$W_{Pulse}=\int_0^{t_0}P_{Light}dt$$

パルスあたりのジュールは、パルス時間に対する合計出力電圧で除して、ピーク光エネルギーを得る。

$$P_{Light}=\frac{W_{Pulse}}{\int_0^{t_0}P_{Light}dt}xV_{Out}$$

各レーザは、GaAs基板に成長された3シングルキャビティ（トリプルジャンクション）であり、4チャネル同時に160Aの電流が印可されるときに、チャネルあたり120Wとなる。レーザダイオードは、リードのないラミネートキャリア基板上にマウントされている。これはハイパワーパルス発振中に冷却を行う優れた熱管理のためである。封止材料は、成形エポキシ樹脂である。これは量産に適しており、壊れやすいレーザ端面を保護する頑丈な自動車品質認定に耐久性のあるプロテクションとなっている。表面実装パッケージは、基準面への制御されたダイ位置決めを利用して設置できる量産品である。

4チャネルはモノリシックであるので、チャネル間隔とアライメントは、標準リソグラフィとマスキングプロセスを用いて、マイクロメートルレベルの位置決めでコントロールされている。レーザの設計は、立上り立ち下がり時間が<1nsとなっている。しかし、駆動回路レイアウトとパッケージインダクタンスが、重要な役割を担うので、大きな課題となり得る。

モノリシックレーザは、密な間隔になっており、個々のチャネルを結合する配線の近さ（<500μm）により、同時動作中に潜在的インダクタンスカプリングになり得る。フローの増加が急速に変化し、狭い配線を通る大電流が銅配線のインダクタンスを経由すると、電流の変化を妨害する。この効果は、変化率が大きくなるとさらに悪化する。そのため、パルスの短パルス化達成が一段と難しくなる。電流の変化は、逆電圧を誘導し、4チャネルの配線の周囲に小さな磁界が生ずる。ファラデーの電磁誘導の法則によって、回路中の電磁流量のいかなる変化も、回路で電圧で計測される起電力を誘導する。誘導電圧と変化する配線の電流との間のこの比率が、インダクタンスと定義されている。電流の流入で、ローレンツの法則に従う、「バックEMFとして知られる誘導電圧が、電流の流れと反対方向に起こる。より短パルスになった場合のこの増加する妨害は、隣接レーザの近さを考えると、真の問題を提起する。

表1　905nmと1550nm波長および選択された条件で計算された大気減衰係数。

Atmospheric extinction coefficient κ ( λ ) (km$^{-1}$), Rel. Humid. 70%

| Visibility (km) | 1 | 5 | 10 | 15 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|
| λ = 905nm | 2.327 | 0.462 | 0.228 | 0.150 | 0.096 |
| λ = 1550 nm | 1.137 | 0.225 | 0.111 | 0.073 | 0.046 |

Atmospheric extinction coefficient κ ( λ ) (km$^{-1}$), Rel. Humid. 100%

| Visibility (km) | 1 | 5 | 10 | 15 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|
| λ = 905nm | 2.615 | 0.519 | 0.256 | 0.168 | 0.108 |
| λ = 1550nm | 1.363 | 0.270 | 0.133 | 0.087 | 0.056 |

表2　一般的な電界効果トランジスタ材料の材料特性比較。

| Material property | Silicon (Si) | Silicon carbide (SiC-4H) | 10 Gallium nitride (GaN) |
|---|---|---|---|
| Band gap (eV) | 1.1 | 3.2 | 3.4 |
| Critical field (10$^6$V/cm) | 0.3 | 3 | 3.5 |
| Electron mobility (cm$^2$/V-s) | 1450 | 900 | 2000 |
| Electron saturation velocity (10$^6$cm/s) | 10 | 22 | 25 |
| Thermal conductivity (W/cm$^2$K) | 1.5 | 6 | 1.3 |

## ワイドバンドギャップ半導体

オスラム社のエンジニアは当初、ターンオン中のレーザダイオードに電流を流すために近接シリコンFETを使うことでこの問題を解決しようとした。このアプローチは、機能しなかった。このハイパワー製品ではドライバがレーザダイオードにいかに密接しているかは問題ではなかった。シリコンは、固有のボンドワイヤインダクタンス克服に必要な高電流とバス電圧（>200V）でブレークダウンするからである。シリコンFETは、大きなゲート静電容量も示し、これが短パルス動作を制限する。最後に、レーザパッケージにドライバを組み込むことも、パッシブ熱管理の観点から理想的とは言えない。水冷あるいはサーモエレクトリッククーラー（TEC）は自動車アプリケーションでは、コスト効果の高い選択肢ではないからである。

電気自動車や光通信産業は、高速のスイッチングやハイパワーバッテリー回路で、長年ワイドバンドギャップ半導体（ここでは、電子を伝導バンドに励起するには、>2eVのエネルギーが必要

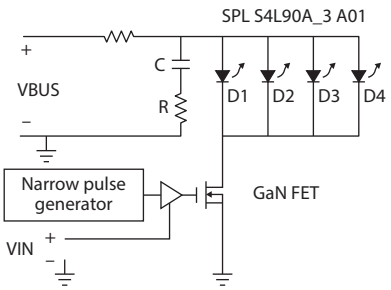


**図3**　強化版共鳴モード回路は、4チャネルレーザ駆動に用いられる。

である）の恩恵を受けている。シリコン（1.1eV）は、低バンドギャップであり、それに続くピットフォールのために、この要求の厳しい性能を満たすことができなかった[4]。シリコンカーバイド（SiC）は、一般的な広いバンドギャップ（3.2eV）半導体であるが、これも高速スイッチングに必要な高電子移動度を提供できない（**表2**）、ただし熱性能は優れている。

GaNは、素晴らしい重要な特性の混合であり、ワイドバンドギャップ半導体でもある。これは、非常に高い電子移動度（表2）により、自動車認定温度でパフォーマンスを提供できる。加えて、SiCとGaNは、両方とも高臨界電界値を示しており、したがってブレークダウンを防ぎ、リーク電流低減となる。GaN熱伝導性（300Kでシリコンの約3.5倍）、高電界ブレークダイン強度（GaNではSiのそれの約15倍）およびワイドバンドギャップ（Siのそれの約3倍）により、GaNは、高温、高出力、高周波環境に最適な材料となっている。GaNは、ハイパワー、高速スイッチングFET実現の理想的材料である。このような高速スイッチングFETは、短パルスで、所望の480W光パワーとなるように同時4チャネル高出力レーザに電流を流すように作動させられる。オスラム社は、この研究のためにGaN Systemsとの提携をスタートさせた。同社が、4チャネルレーザ駆動のために理想的なGaN FETを提案してきたからである。

ライダアプリケーションでGaNの高性能パラメータと同じように、特殊回路設計に必要とされる480Wピークパワーと<2.5ns FWHMが達成される。それに応じてGaNシステムズ社は、4チャネルOsramレーザを駆動するために、古典的共鳴、強化モード回路の特別バージョンを開発した（**図3**）[3]。有効ボードレイアウトも重要であった、またこれはGaNシステムズ社の知見が必須のところである。オスラム社の新しい製品は、CES 2019とSPIE Photonics Westで紹介された。GaNシステムズ社の特許となっている、大電流横方向GaNパワートランジスタ向けのサーキット・アンダー・パッド（CUP）デバイストポロジーにより、非常に効率的な熱管理が可能になる[5]。示された回路は、全4チャネルを同時に駆動するが、GaN Systemsは、個別対処可能なソリューションも開発する予定である。

## レシーバに対する考慮

ライダ検出された距離精度は、フィルタリング後、必ずしも最適条件ではないが、信号対雑音比（SNR）で除した信号幅として近似できる。最高検出性能となるのは、信号がノイズからフィルタリングされたとき（高SNR）、また受信パルス幅への歪が最小の時である。これは、「ホワイトニング」整合フィルタ、または同じ原理の他のフィルタを用いて達成される。

そのような最適フィルタ（アナログまたはデジタル）の生成は、不完全な条件で信号とノイズの推定が必要になる。例えば、受信信号振幅、パルス幅、傾斜基板反射から来る不鮮明さ、ノイズ、バックグラウンド放射、ジョンソン、および1/fノイズなどである。大気中の汚染物質などの粒子によるパルス散乱は、レシーバでは連続DC後方反射となり、それがショットノイズになる。この反射は、極限条件でレシーバを飽和させることもあり得る、その結果、リカバリタイムが数メートルになり、したがって厳しい受信条件となる。

分かっていることだが、極短パルスを検出するためにレシーバをマッチングさせることは、厳しい条件では適切でない可能性がある。幅広い受信スペクトルが、最終処理される信号に、より多くのノイズを導入するからである。したがって、わずかに長い時間幅のレシーバ「ウィンドウ」を持つ短い伝送パルスで構成されるハイブリッドモードが、よりロバストなシステムとなる。

さらなる戦略的提携により、短いパルスが、最適なアイセーフティと熱管理、また十分に高い解像度を可能にする。ライダ技術の長年の障害は、高いピークパワーを維持しながら、レーザ光を短パルスで伝送する能力だった。このハードルは今では克服されたので、その技術は、すべての人にとっての自律走行に一歩近づいた。

**参考文献**

(1) See http://bit.ly/OsramRef1.
(2) J. Wojtanowski et al., Opto-Electron. Rev., 22, 3, 183-190 (2014).
(3) J. Williams, "AN98 Signal Sources, Conditioners, and Power Circuitry - Circuits of the Fall, 2004: Nanosecond Pulse Width Generator," Linear Technology Corporation (2004).
(4) See http://bit.ly/OsramRef4.
(5) A. Mizan, H. Mousavian, and X. Cui, U.S. Patent Application No. 15/988,453 (2019).

**著者紹介**

アン・ラッセルは、米オスラム・オプトセミコンダクターズ社（Osram Opto Semiconductors）のシニアアプリケーションエンジニア。ヨチェイ・ダンジガーは、イスラエルのLumus社のCTO。e-mail:ann.eldemery@osram-os.com
URL：www.osram.com

LFWJ