

ARB RIDER AT-AWG-5000 シリーズ

光学、フォトニクス、レーザー用の AWG

アプリケーションノート

ARB RIDER AWG-5000 SERIES



はじめに

現在、光学、フォトニクス、レーザーに基づくアプリケーションは非常に人気が高まっており、最新世代の科学者は、自動車用 Lidar、医療ソリューション、航空宇宙および防衛、量子センサやレーザーセンサなど、現実世界での使用に向けた新たな領域を開拓しています。

市場投入までの時間、および要求の厳しさを増すアプリケーションなどのテストの課題に立ち向かうための正しい選択肢として、最新の任意波形発生器およびファンクション・ジェネレータが提供され、これまでにない柔軟性と、すべてのタイプのパルス、信号、変調を生成する強力な機器が提供されました。

アプリケーションによって必要な信号の種類は異なりますが、以下では AWG のアプリケーション例をいくつか紹介します。

- ・ 電気光学変調器を直接駆動するための高振幅および高速パルスの生成。
- ・ 量子光学アプリケーション用の刺激を生成するためのさまざまな種類の信号とパルスの生成。
- ・ パルス・レーザー・ダイオードを駆動するためのパルスの生成。



課題：

- ・ 光学、フォトニクス、レーザー用のパルスの生成

解決策：

- ・ AT-AWG-506X 任意波形発生器

結果：

- ・ 光学とフォトニクス・システムの信頼性や特性の試験を容易にします
- ・ レーザーや電気光学変調器のためのパルスの生成および信号を制御するための時間を短縮します。



Active Technologies

電気光学変調器 (EOM)

集積光導波路は、光ファイバにアナログで決定された経路に沿って光を導くことができます。導波路は、周囲の材料と比較して屈折率の高いチャンネルで構成されています。

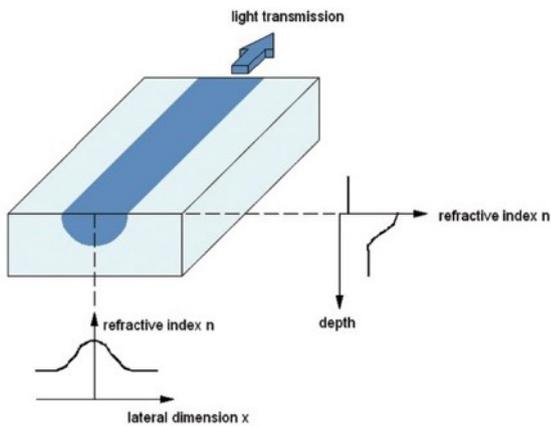


図 1：光導波路

光は、チャンネル壁での全反射によって導かれます。波長、基板の屈折率、屈折率の差、チャンネルの幅および深さに応じて、1つまたは複数の横振動モードが励起されます。

シングルモード動作は、多くの集積光学素子の機能に不可欠であるため、非常に興味深いものになります。特に光通信技術においては、光集積素子には光ファイバが用いられるのが一般的です。

ポッケルス効果としても知られる線形電気光学効果は、外部電場が変化した場合に光学材料の屈折率が変化する二次非線形効果です。この屈折率の変化量は電場の強さ、その方向、光の偏光に比例します。

集積型光変調器の製造に推奨される材料はニオブ酸リチウム (LiNbO_3) です。

長さ L の電極を使用して導波路に電場が印加されると、電極間の領域で屈折率が変化し、導波される光の位相シフトが生じます。この位相シフトは印加電圧に対して線形になります。

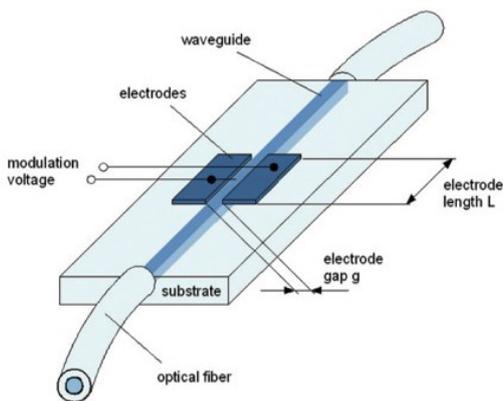


図 2：位相変調器

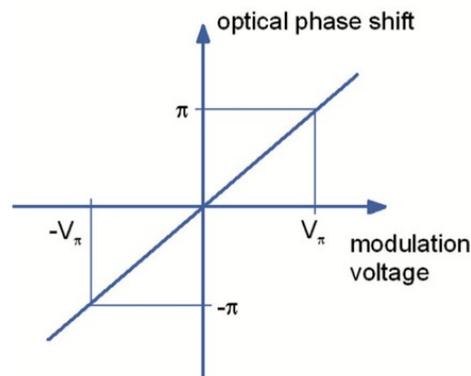


図 3：位相シフト

変調電圧は、通常、数ボルトに相当します。特定の電極形状においては、より長い波長の場合は、より短い波長の場合よりも高くなります。例えば、赤色 (635nm) では 3V、通信波長域 (約 1550nm) では 10V が想定されます。

非常に速い電気光学応答、低い制御電圧、および洗練された電極形状の使用により、ギガヘルツ範囲の周波数での変調を達成することが可能です。

位相変調器は統合されたマッハ・ツェンダー干渉計に挿入され、振幅変調器を形成します。

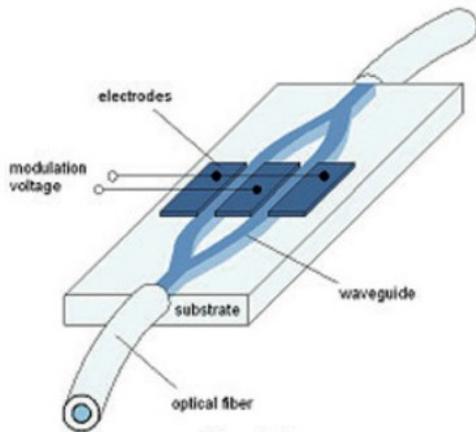


図 4：マッハ・ツェンダー振幅変調器

電圧を印加するとブランチ間に相対的な位相差が生じ、干渉によってデバイス出力の出力電力が変化します。したがって、デバイスの送信は最小値と最大値 (P_{\min} から P_{\max}) の間で制御できます。

オン状態からオフ状態へ、またはその逆に切り替えるには、相対位相差 π が必要です。このために必要な電圧は、振幅変調器の半波電圧 V_{π} と呼ばれます。

プッシュプル動作により、振幅変調器の半波電圧は、電極長が等しい位相変調器の半波電圧の半分になります。たとえば、635nm の赤色では 1.5V、約 1550nm の通信波長範囲では 5V になると想定されます。

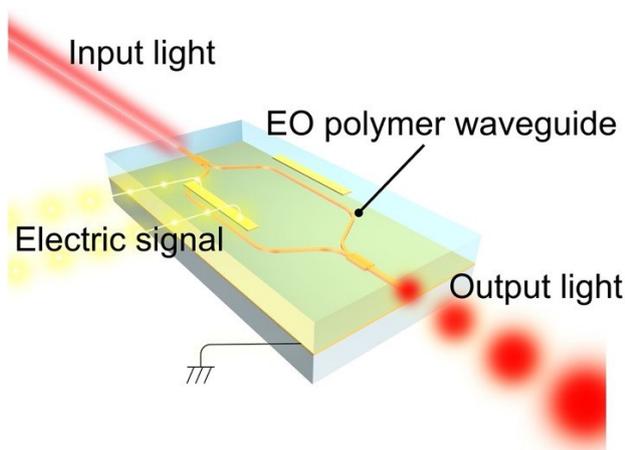


図 5：入力光／出力光

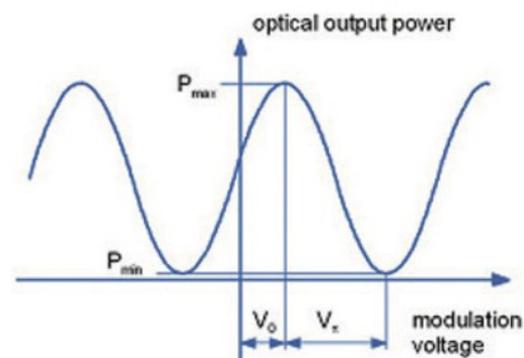


図 6：振幅変調器の特性曲線

RF 信号を変調電圧として電極に印加すると、この電気入力振幅情報が変換されます。

この振幅出力は電圧の大きさと形状に依存するため、変調器の動作点の位置に関係します。この図は、バイナリのパルス電気入力によりバイナリ光出力信号が送信されることを示しています。電圧レベルが正しくない場合、つまり電圧が高すぎるかオフセットが正しくない場合、変調器は、バイナリ動作では不正確な光出力レベルを出力し、アナログ動作では高調波として応答します。

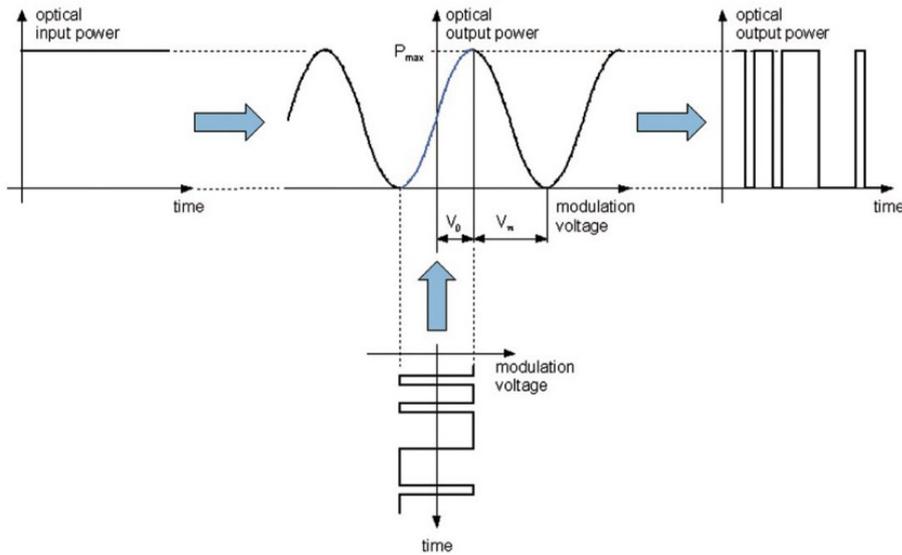


図 7：マッハ・ツェンダー振幅変調器の動作



図 8：イエナオプティック・マッハ・ツェンダー電気光学変調器

Arb Rider AWG-5000 任意波形発生器を使用すると、最大 5Vpp の振幅で非常に狭いパルス（最小パルス幅は 230ps）を生成することで変調電圧を作成できます。

高振幅の出力信号と 110ps の立ち上がり/立ち下がり時間（5Vpp@2GHz 帯域幅）を組み合わせることで、外部アンプを追加せずにさまざまなタイプの電気光学変調器を直接駆動することができます。

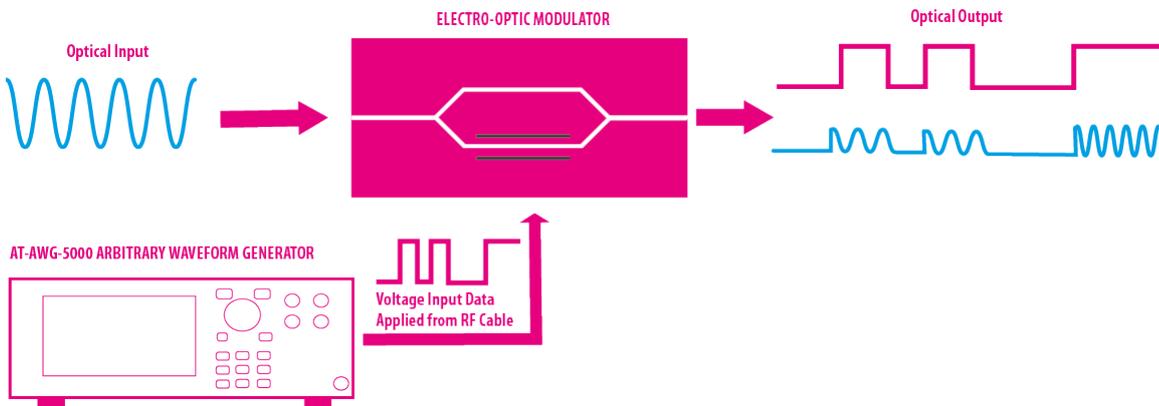


図 9：AWG-5000 と電気光学変調器の接続図

True-ARB ユーザー・インターフェイスにより、さまざまなパルス形状を簡単に生成でき、光出力信号をより詳細に制御できます。

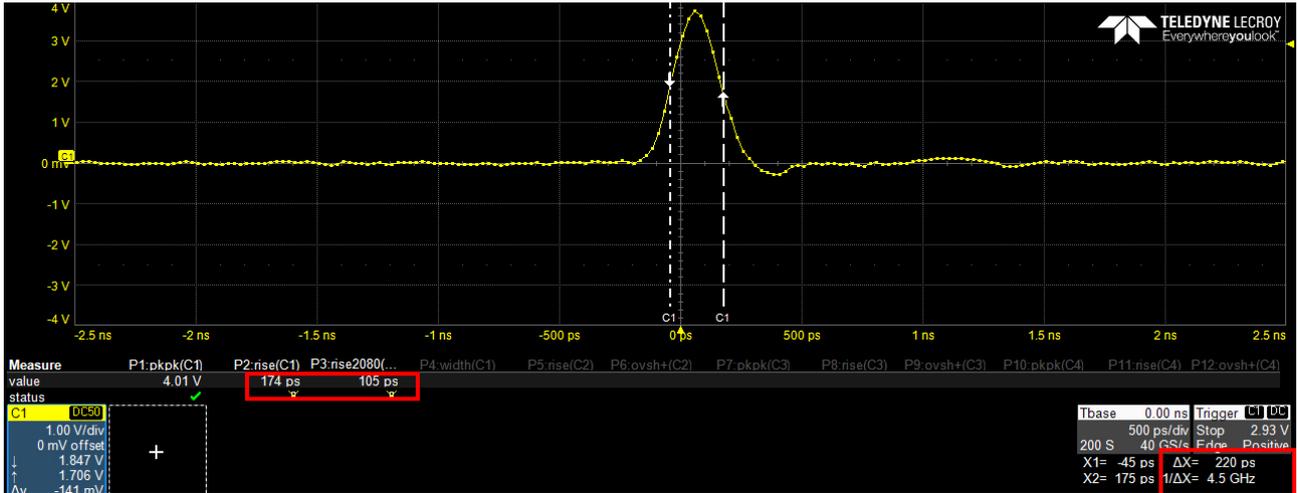


図 10：AWG-5000 の最小パルス幅:230ps

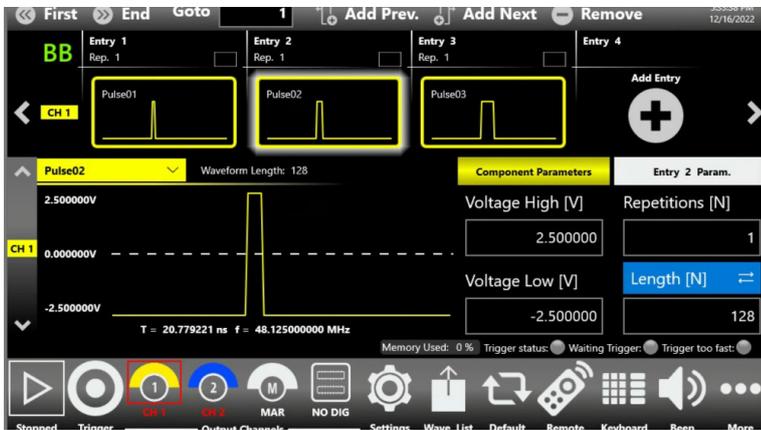


図 11：True-Arb の UI - 複数のパルス生成

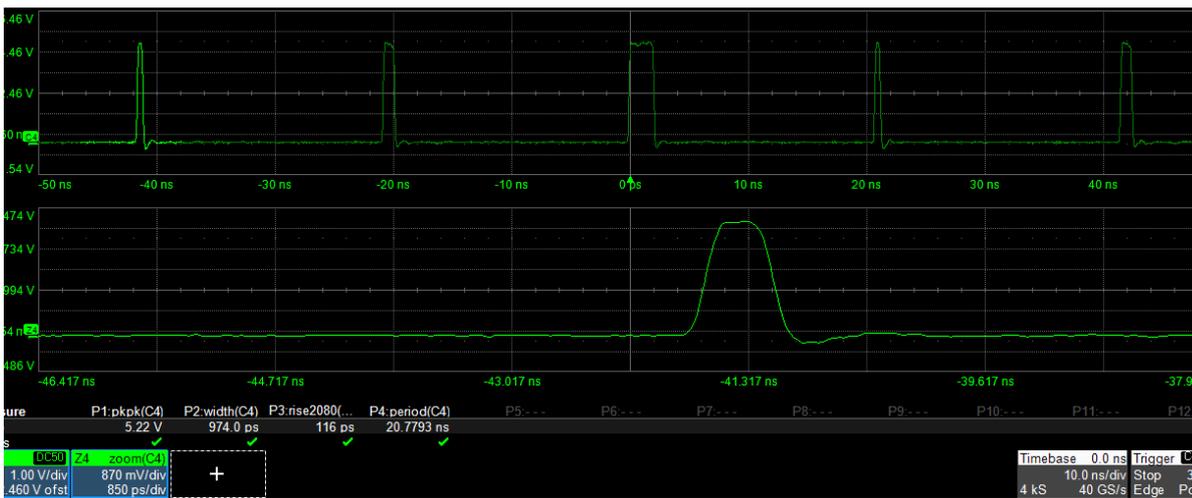


図 12：オシロスコープのスクリーンショット - 複数のパルス生成、5Vpp 振幅

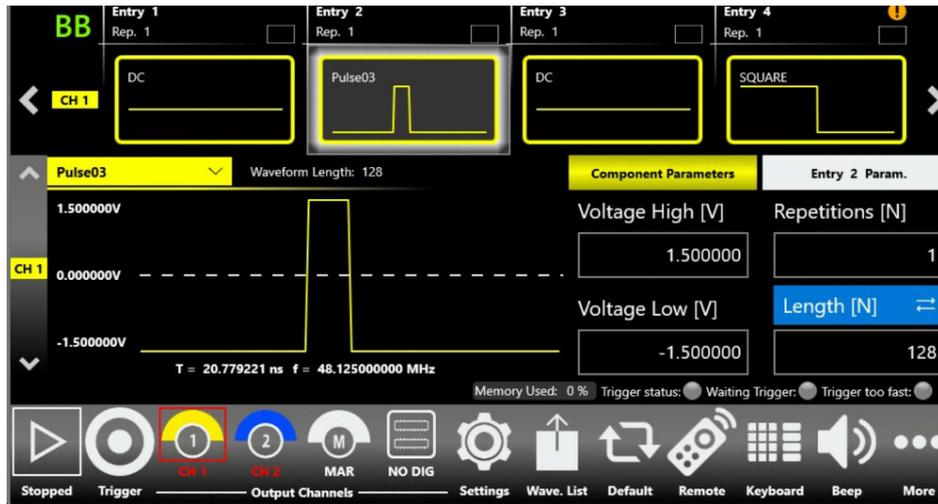


図 13：電気光学変調器制御の True-Arb 設定

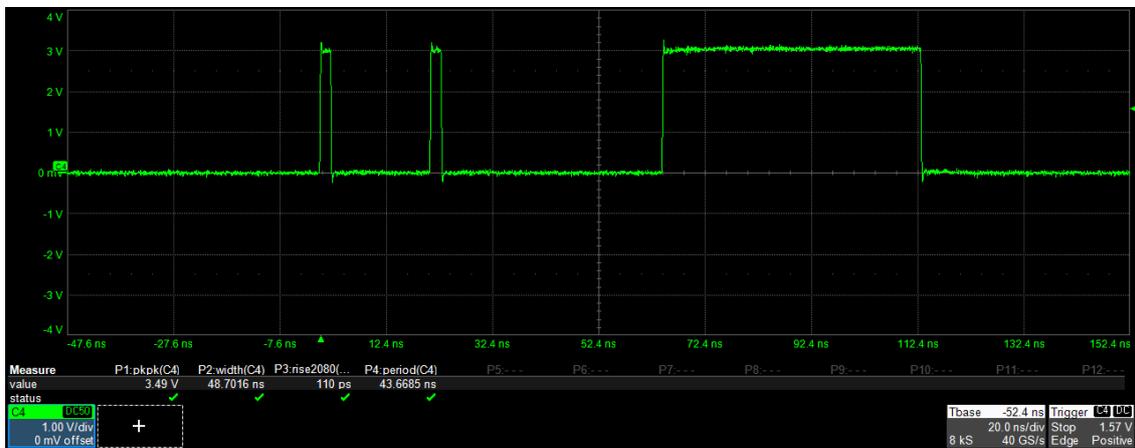


図 14：振幅 3.5Vpp の電気光学変調器の電圧入力信号

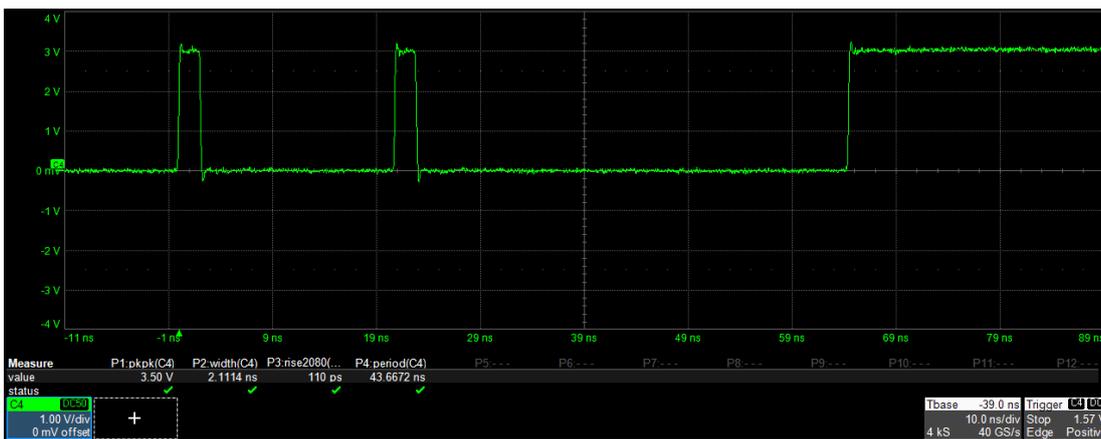


図 15：3.5Vpp の電気光学変調器の電圧入力信号 - 拡大図

量子光学

ダイヤモンドのカラーセンターは結晶格子の欠陥であり、炭素原子がさまざまな種類の原子に置き換えられ、隣接する格子サイトが空になっています。

カラーセンターは、その明るい単一光子放出と光学的にアクセス可能なスピンにより、将来の量子情報処理および量子ネットワークにとって有望な固体量子エミッタとなる可能性があります。

スピン・キュービットとコヒーレント光子のもつれを可能にする最も成熟したシステムの2つは、量子ドットとダイヤモンドの窒素空孔（NV）センターです。しかし、これら2つのシステムの間では、NVは1秒を超える優れたコヒーレンス時間を示しますが、区別できない光子を生成するために必要なゼロフォノン線（ZPL）への効率的な発光が不足しており、一方で、量子ドットは発光特性において十分な特性を示していますが、その発光時間は数十 ns のコヒーレンス時間に制限されています。

以下は、固体量子エミッタを使用する際の典型的な課題を明確にしています：

- ・ 単一光子の生成
- ・ エミッタのスピン・コヒーレンス時間

ダイヤモンドのグループ IV 空室センター、特に SiV 空室センターに関する最近の調査では、これらの分野を満たす有望な結果が示されています。

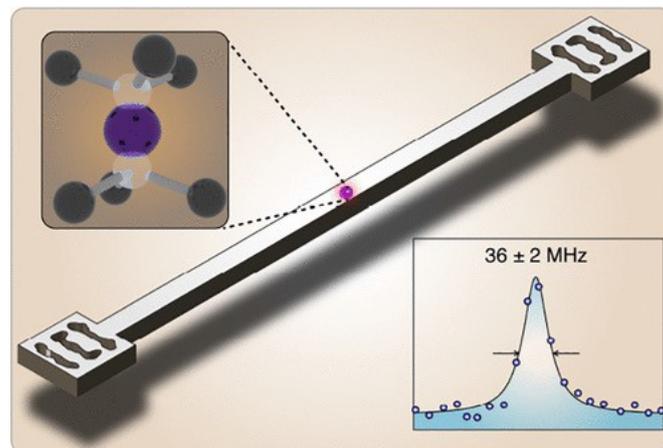


図 16：個体量子エミッタ

スズベースの空孔センターは、その優れたスピン特性と組み合わせることで、ナノ構造内で強力かつ安定したゼロ光子線放出を行うため、ナノ・フォトニクス・プラットフォームへの統合に非常に適しています。

ダイヤモンドのグループ IV 空孔センターは、ZPL への発光に有利な結晶学的対称性により、優れた光学特性を示します。

SiV センターは 100mK で 10ms のコヒーレンス時間を示しますが、SnV は、標準的なヘリウム低温保持装置で容易に到達できる温度ある、2K で同様の時間を示すと予測されています。

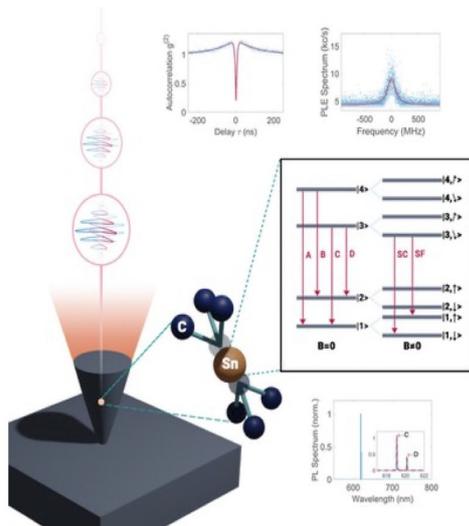


図 17：SnV 空室センター

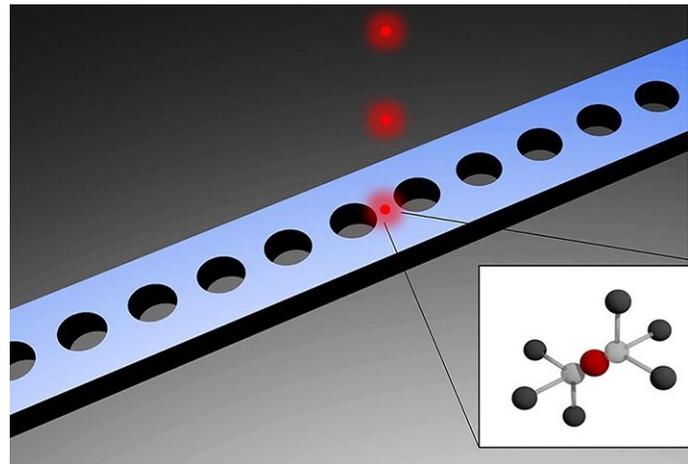


図 18：単一光子エミッタ

Arb-Rider AWG-5000 シリーズは、ダイヤモンドの単一スズ空孔センターを操作するために使用される、実験的パルスのシーケンスを制御するために使用されています。

AWG-5000 を使用すると、高振幅 (>1.5V) の狭い電気的方形パルスを生じ、電気光学振幅変調器を制御して短いレーザー・パルスを生成することができます。

この仕組みを利用し、280ps と狭く半値全幅を示すガウス形状に近い光パルスを生成することが可能です。さらに、AWG-5064 は、最大約 2GHz の周波数側波帯を生じ、電気光学位相変調器の駆動用に使用されており、位相安定レーザー場で 2 つの光学遷移を駆動できるようになります。

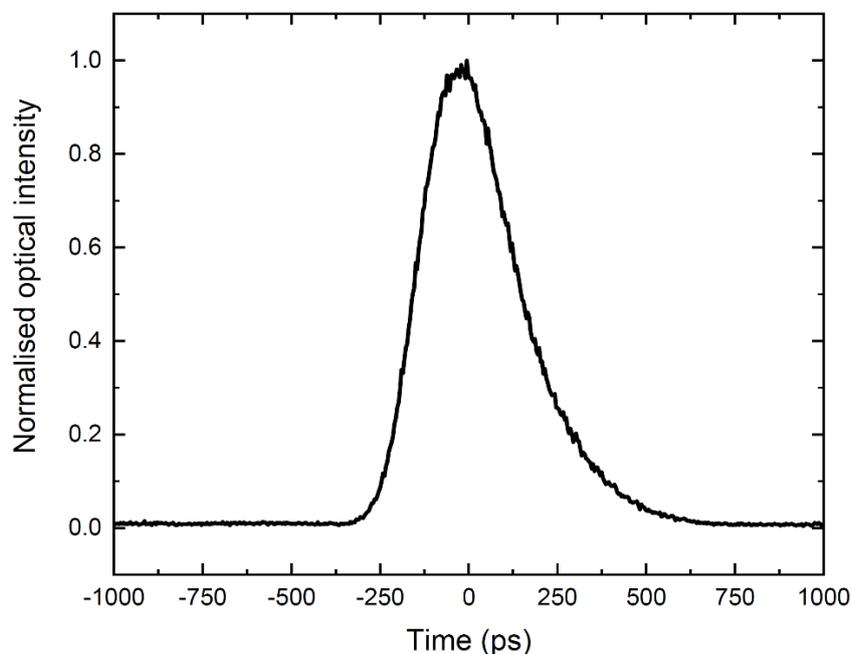


図 19：ガウス光パルス

AWG-5000 のデジタル出力チャンネルを利用すれば、音響光学振幅変調器を制御したり、実験的なシーケンスのタイミングのためのトリガー・パルスを生成するために使用したりできます。

将来的には、シーケンス内の特定の読み出しの結果に応じて、測定プロトコルをリアルタイムで制御することが必要になるでしょう。

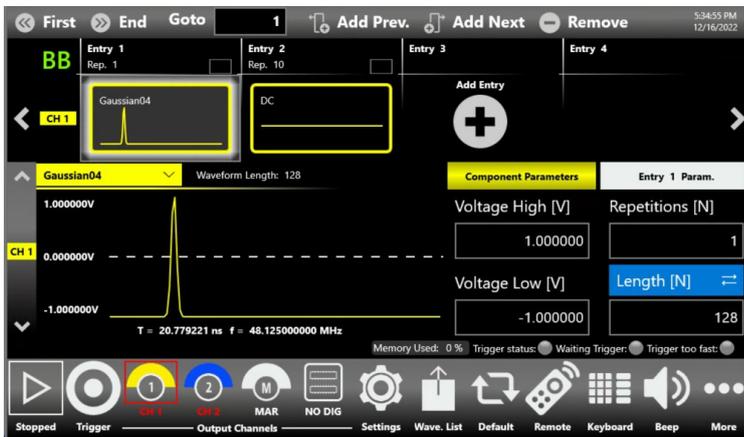


図 20：ガウス光パルスの TrueArb 設定

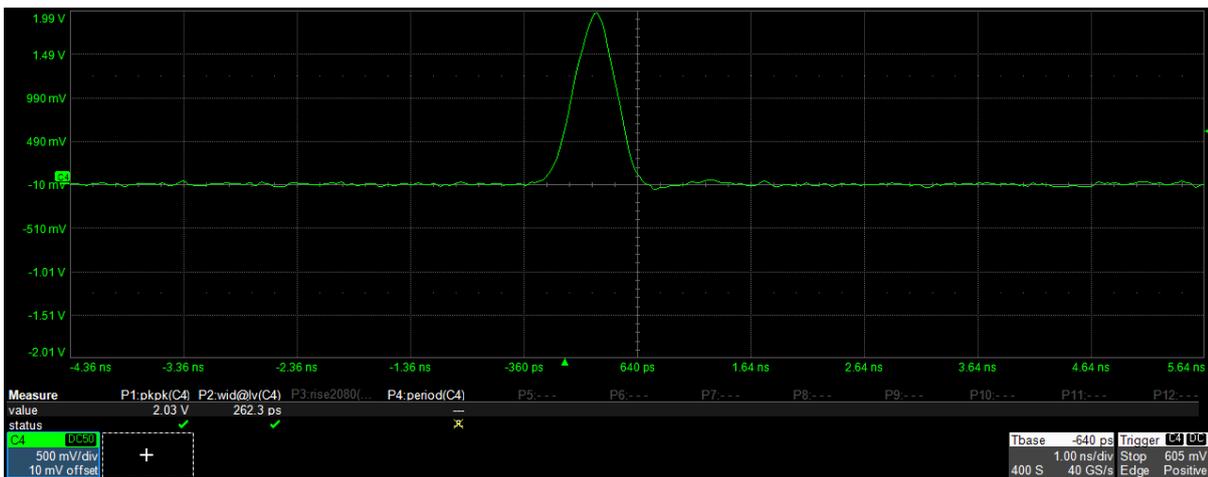
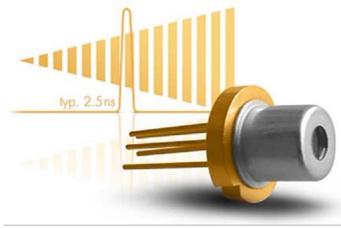


図 21：ガウシアン・パルス- 230ps 幅、2Vpp 振幅

パルス・レーザー・ダイオード・ドライバ



パルス・レーザー・ダイオードは強力なパワーの短パルスを提供できるため、攻撃目標指示や距離測定などの軍用途に理想的な選択肢となっています。

実際、これらのダイオードの開発の歴史的な動機のほとんどが軍事的なルーツを持っています。しかしながら、今日の技術の向上とコスト削減により、計測学や医学における新たな用途が開かれています。

連続動作とパルス動作の比較

標準的なレーザー・ダイオードは、数ミリワットから数ワットの出力で CW 放射を放射するように設計されています。パルス・レーザーはより低いデューティサイクルで動作するため、熱の除去はそれほど問題にはなりません。

パルス・レーザーと CW レーザーの設計上のもう 1 つの違いは、パルス・レーザーの出力面の反射率が、一般にはるかに低いことです。

一般的な CW レーザーでは、発光幅を $5\sim 35\mu\text{m}$ に制限することにより、閾値を低く抑えています。レーザー閾値電流はこの幅に正比例しますが、パルス・レーザーで生成される高利得により、幅を最大 $400\mu\text{m}$ まで拡大し、それに応じてピークパワーを増加させることができます。残念ながら、予防策を講じないと、この幅と高利得での短い共振器の組み合わせにより、循環電力が端面間を真ぐ往復するのではなく、利得領域内で斜めに跳ね返る回転モードが発生する可能性があります。

閾値に影響を与えるもう一つの要因は、パルス・レーザーの構造が、 35° から 45° を提供する典型的な CW デバイスと比較して、一般的に 25° 未満のビーム発散を提供するように構成されていることです。よりタイトなビームは、利得領域内の光子の量を減らす横方向の弱い導波路である「大きな光キャビティ（空洞）」内に光子を拡散させることによって実現されます。パルス・レーザー構造には横方向導波路が組み込まれていないため、この方向へのビームの発散は通常 10° です。

パルス・レーザー・ダイオードは、高電流パルスで駆動されるように設計されており、短く高出力の光パルスを生成します。

ほとんどのアプリケーションで要求される非常に高いピークの光パワーを達成するため、デューティサイクルは通常 0.1 パーセント未満に保たれます。これは、100ns の光パルスの後に $100\mu\text{s}$ の休止があることを意味し、つまり、キロヘルツ範囲の繰り返しレートで非常に短いパルスが利用可能です。最大パルス長は通常 200ns の範囲にあり、より一般的なのは、 $3\sim 50\text{ns}$ のパルスです。

これらの光パルスを生成するには、数十アンペア程度の電流が必要です。このような大電流レベルでは、高速スイッチングトランジスタと適切な回路が必要であり、誘導損失を低減するためにすべての電気接続はできるだけ短く保たれます。

このため、CW レーザー技術の進歩の恩恵を受けながら、パルス・レーザーは、独自の用途で高いパフォーマンスを提供し、経済的な生産を促進するように最適化されています。

最初に商用の GaAs パルス・レーザーが利用可能になったときの波長は 905nm でした。幸いなことに、この波長はシリコン検出器のピーク応答性に近く、近くに水の吸収ピークがあるため、周囲光が減少し、検出感度が向上します。

新しい技術とさまざまな半導体材料をベースにしたレーザーの出現により、さまざまな波長のレーザーを生成できるようになりました。

しかし、1550nm の範囲で動作するレーザーは、霧や煙を通しての透過性に優れているため、より注目を集めています。もう 1 つの明らかな利点は、この波長は短い波長よりも視覚への危険が少ないことです。

飛行時間とその他の機能

パルス・レーザー・ダイオードの多くのアプリケーションは、ターゲットからの反射または後方散乱したレーザー・パルスの飛行時間を測定することによって、ターゲットの距離を計算する、独創的な測距アプリケーションの変形です。この原理を利用して、より高度な機器の一部は、最大 10km の距離で正確な測定を行うことができます。たとえば、警察のレーザー「スピードガン」は、最高 3,300 フィート (1,000m) の距離で、1~3%の精度で時速 155 マイル (250km/h) までの車両速度を測定できます。反射信号のドップラー・シフトの大きさから速度を直接測定する従来の高周波スピードガンとは異なり、レーザー・スピード・ガンは、異なる時間に行われた距離測定を比較することによって速度を計算します。

価格が下がって以来、目に安全な距離計はさまざまな娯楽活動で利用できるようになりました。たとえば、ハンターはレーザー測距装置を購入し、数百メートルの範囲にわたってターゲットまでの距離を 1~2 メートルの精度で測定できます。

同様に、ゴルファーはハンディキャップを改善するために安価なレーザー距離計を購入できます。一部の人間（すべてではありません）が、単純な用途を考えているかもしれませんが、自動車エンジニアは、ドライバーに危険を警告するために、パルス・レーザー・ダイオードに基づいた距離計を開発しています。レーザー距離センサも広く使用されています。

パルス・レーザー・ダイオードは、自動車の衝突回避システムに光信号を提供し、特に港や船舶の航行補助として使用され、空港のクラウドベース測定用のシーロメーターや、測量や建設に使用されます。

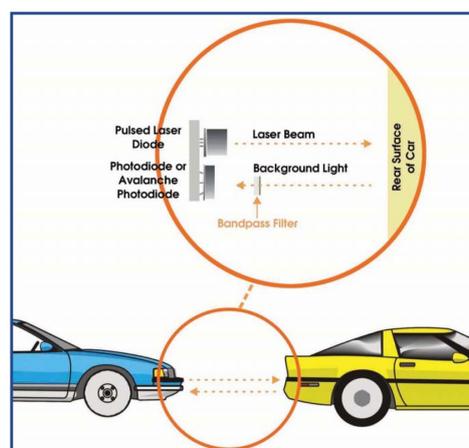


図 22：衝突検出用のパルス・レーザー

レーザー・セーフティ・スキャナでは、パルス・レーザー・ダイオードが自動生産ラインなどの潜在的に危険なエリアの周囲に光のカーテンを作成します。コード化されたパルス発光を使用すると、二次元カーテンを監視して、許可された形状と許可されていない形状を区別できます。パルス・レーザー・ダイオードからの高いピークパワーは、アバランシェ・フォトダイオードと組み合わせて使用すると、形状の識別に必要な感度を提供します。このような機器は、安全インターフェースとして機能するだけでなく、遠隔管理および診断機能も提供する場合があります。このような機器は、安全インターフェースとして機能するだけでなく、遠隔管理および診断機能も提供する場合があります。

さらに、レーザー・鍼治療や治療などの医療用途におけるパルス・レーザー・ダイオードの劇的な創傷治療能力が、研究によって裏付けられています。ここでは、625~905nm のスペクトル範囲の波長が好まれています。後者の波長は組織や骨に深く浸透し、関節の痛み、腫れ、炎症、その他の症状を軽減します。細胞に損傷を与えることなく透過と吸収に必要な出力を得るには、レーザー光をパルス化する必要があります。

レーザー・ダイオードを使用した短く強力なパルスの生成は、技術的または経済的な理由により、CW レーザー・ダイオードでは対処できないさまざまなアプリケーションを可能にする技術です。レーザー部品やその他のメーカーは商用製品を開発し、そのようなアプリケーション向けに、単一エミッタと複合デバイスの両方として、幅広い出力パワーと発光領域を備えた 850、905、1550 nm のデバイスを提供しています。

Arb Rider AWG-5000 を使用すると、パルス・レーザー・ダイオードを直接制御したり、電気光学または音響光学変調器を使用して間接的に制御したりできます。

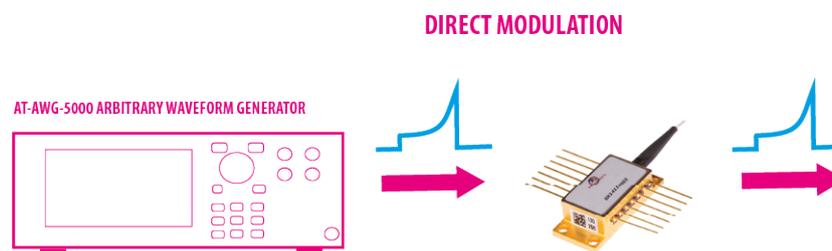


図 23：直接変調 - パルス・レーザー・ダイオード・ドライバ

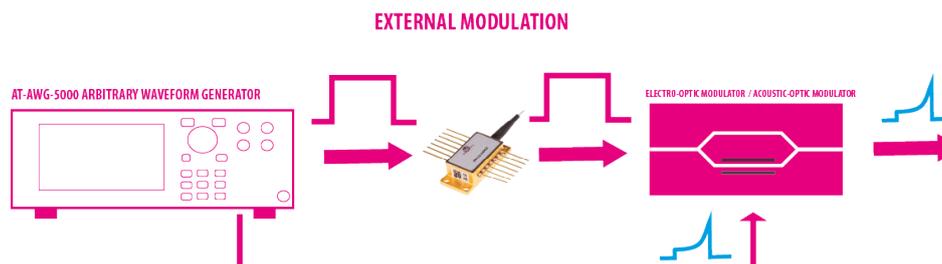


図 24：外部変調 - パルス・レーザー・ダイオード・ドライバ

パルス・レーザー・ダイオードは、高振幅で非常に短く狭いパルスで駆動する必要があります。AWG-5000 は、最大 5Vpp の振幅、110ps の立ち上がりおよび立ち下がり時間、230ps の最小パルス幅を持つ方形、ガウス、指数関数形状のパルスを生成できます。

次のスクリーンショットは、True-Arb UI でさまざまなパルスを簡単に作成し、オシロスコープで再現できることを表しています。

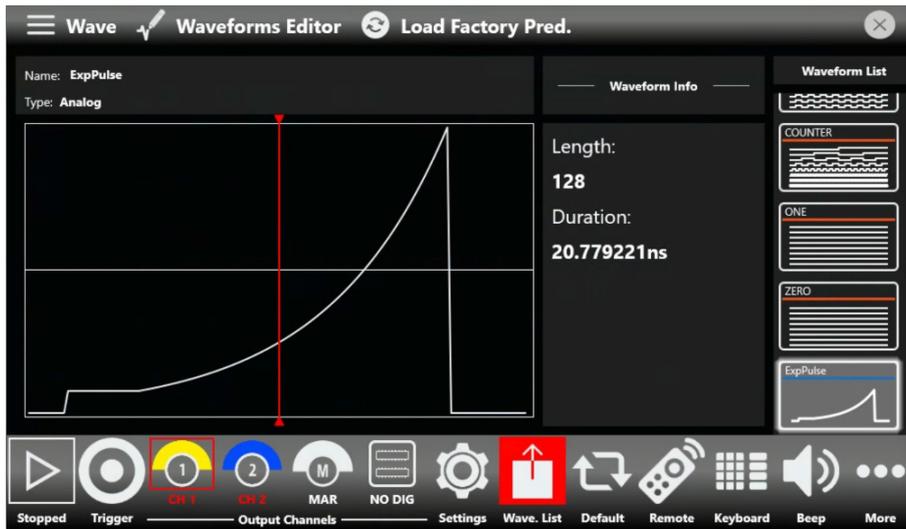


図 25：ガウシアン・パルス - 幅 230ps、振幅 2Vpp

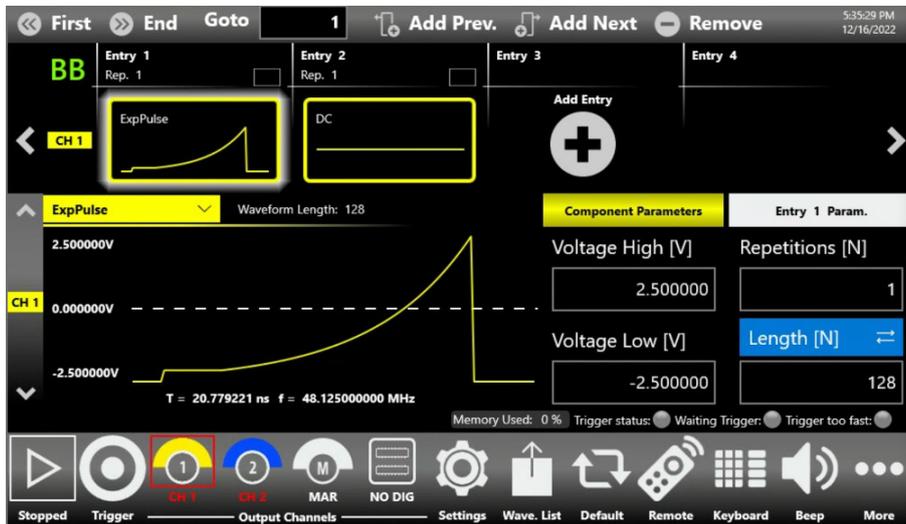


図 26：ガウシアン・パルス - 幅 230ps、振幅 2Vpp

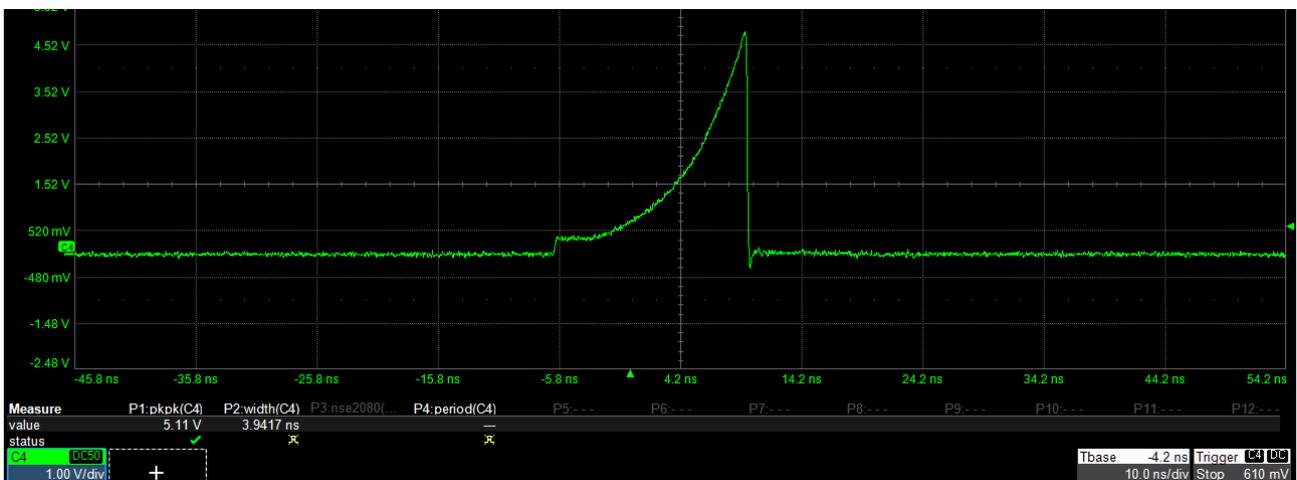


図 27：ガウシアン・パルス - 幅 230ps、振幅 2Vpp

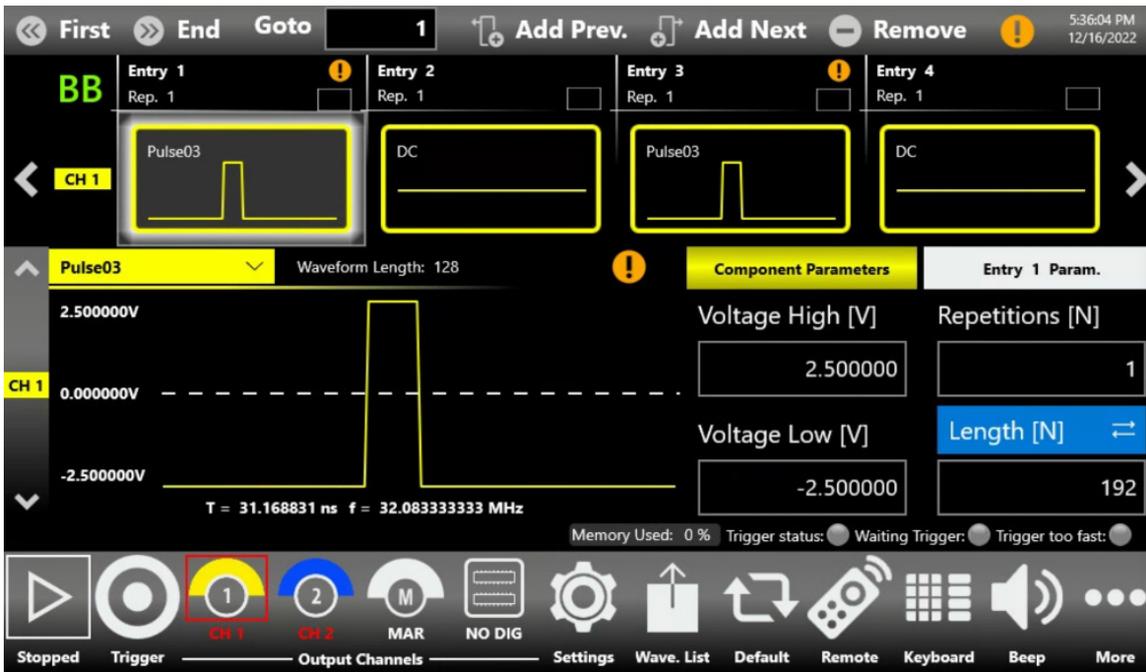


図 28：パルス・レーザー・ダイオード制御用の矩形パルス

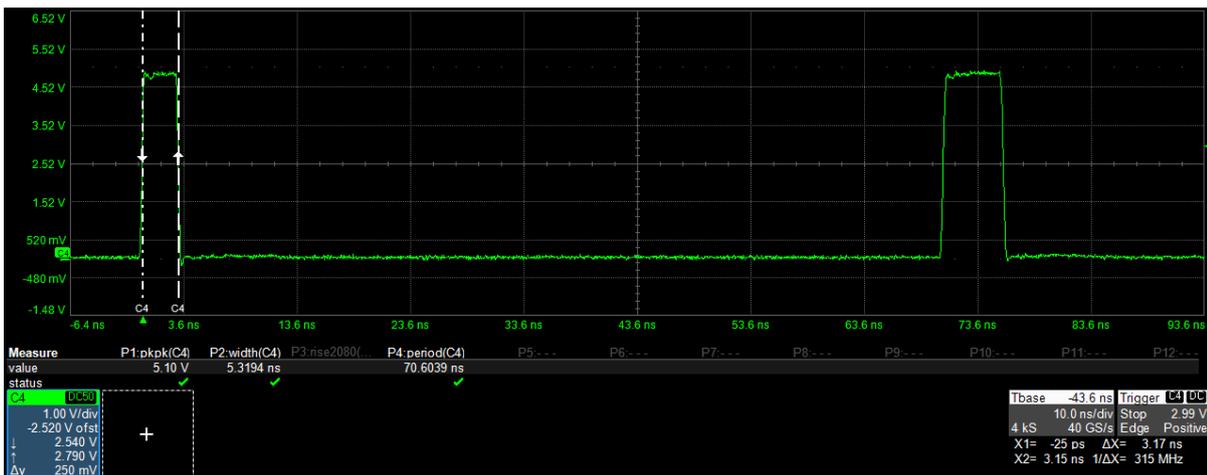


図 29：振幅 5 Vpp、幅 3ns の矩形パルス

まとめ

Arb Rider AWG-5000 シリーズは、量子光学、フォトンクス、レーザー・アプリケーションにおける今日の課題に対処するために必要な、あらゆるタイプのパルスまたは信号を生成する、非常に柔軟で高性能なソリューションを提供します。

新しい業界の要件と新製品の開発により、最も要求の厳しいアプリケーションや最新の科学者のアイデアを満たすための最先端のテスト機器の需要が増加しています。

※ 製品を廃棄する場合には、地方自治体の条例・規則に従って廃棄してください。 ● 製品改良等により、外觀および性能の一部を予告なく変更することがあります。 ● ここに記載した内容は、2023年8月現在のものです。
 ※ 社名、商品名等は各社の商標または登録商標です。 ● お問い合わせは、下記当社営業部および営業所または取次店へお問い合わせください。 ● 商標は変更の可能性があります。ご注文の際にはご確認を頂きますようお願い申し上げます。

IWATSU
 信崎通信機株式会社 URL: <https://www.iwatsu.co.jp/tme>
 計測ソリューション営業部
 ■ 計測営業担当 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5474 FAX 03-5370-5492
 ■ アカウント営業担当 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5474 FAX 03-5370-5492
 ■ 国際営業担当 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5483 FAX 03-5370-5492
 ■ 西日本営業所 〒550-0005 大阪府大阪市西区本町2-3-6山岡ビル1F TEL 06-6535-9200 FAX 06-6535-9215