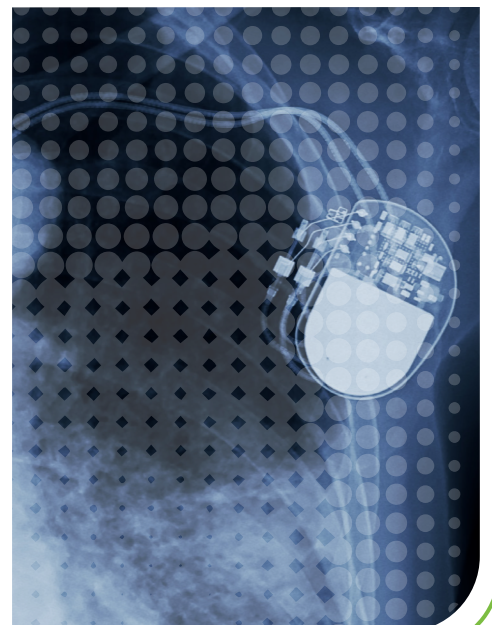
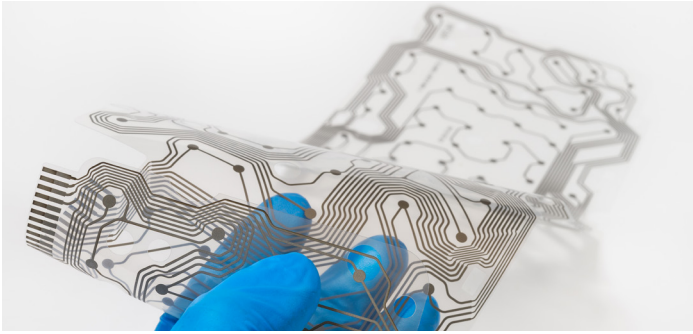


フレキシブルプリント基板の進化と MKS ソリューション



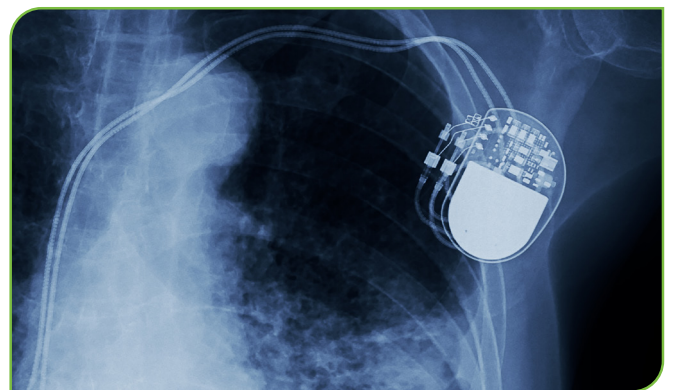
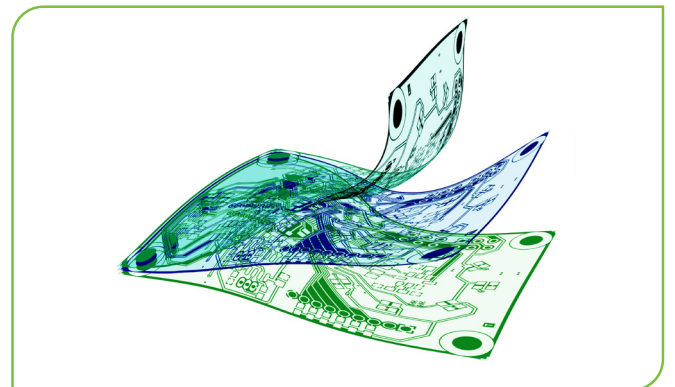


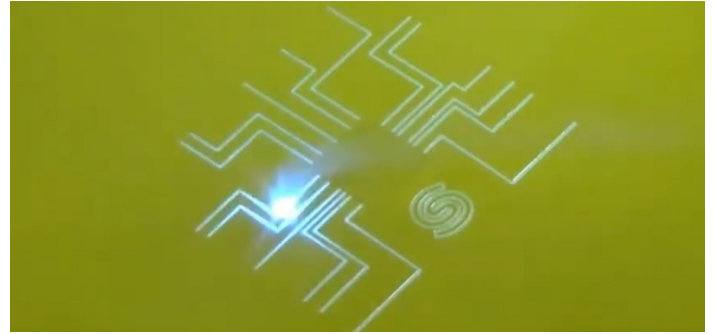
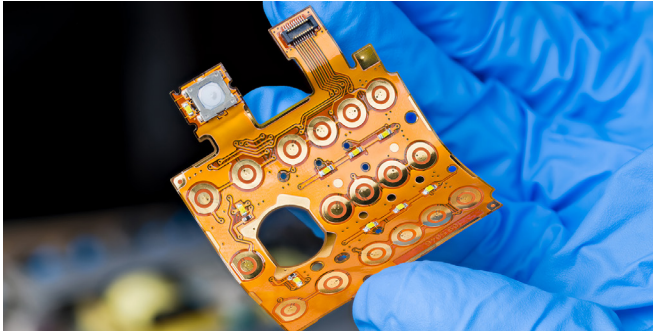
デジタル社会に向けたフレキシブル技術

デジタル技術は私たちの生活に深く浸透しており、手に取り操作するごく小さなアイテムの中を含め、ほぼあらゆる場所で電子機器が動作していることを、私たちは当然のこととして受け入れています。着ている衣服に組み込まれた電子デバイスや、私たちの体内に埋め込まれたデバイスでさえ、徐々に当たり前のものとして受け入れられつつあります。社会のデジタルトランスフォーメーションが進むにつれ、より小型・軽量で適応性に富み、かつ高性能な電子機器への需要が高まっています。従来のFR4ベースの硬質プリント基板（PCB）は、数十年にわたり数え切れないほどの貴重な用途で活躍してきました。しかし、ますますデジタル化が進む世界で求められる、より小型・軽量で適応性が高く、かつ高性能な電子機器の製造において、PCBには限界があります。

従来のPCBに代わるものとして、フレキシブルプリント回路（FPC）があります。その名が示す通り、FPCは柔軟性があり、曲げたり、ねじったり、さらにはある程度まで折りたたむことさえできる回路基板です。対照的に、従来のPCBは剛性があるため、曲げたり、ねじったり、折りたたんだりすることはできません。また、FPCは従来のPCBよりもはるかに軽量です。従来のPCBに比べてFPCが持つその他の利点としては、（その柔軟性により）振動や動きに対する耐性が高いことや、接続点が少ないため、相互接続やんだ付けの不具合のリスクを低減できることが挙げられます。

FPCは数え切れないほどの用途に利用可能であり、すでに私たちの生活に劇的な影響を与えています。例えば、曲げられるスマートフォンなど、FPCのおかげで民生用電子機器はさらなる小型化かつ高性能を実現し、より便利になっています。自動車業界においても、制御の自動化に向けて電子機器やセンサーへの依存度が高まるにつれ、FPCは重要な役割を果たしています。FPCは特に医療・ヘルスケア分野で不可欠であり、一例を挙げれば、埋め込み型デバイスやウェアラブルデバイスの機能や用途を拡大しています。5GやIoTの普及に伴い、FPCへの需要はさらに高まるでしょう。これらはFPCが活用できる用途や産業のほんの一部に過ぎず、航空宇宙、ロボット工学、AR/VRなど、多くの分野でも広く利用されています。





フレキシブルプリント回路（FPC）の製造における課題

FPCの製造においては、シングレーション（デパネリング）、カバレイフィルムのパターンニング、穴あけやビア加工などの工程でレーザーが広く使用されています。しかし、すべてのレーザーが同じではなく、すべてのレーザーが最適な結果をもたらすわけではないことに留意する必要があります。

FPCのレーザー製造プロセスにおける重要な課題の一つは、パネルにより多くの回路を配置できるように、必要最小限の材料のみを除去すること（無駄な除去量を削減すること）であり、それによって正味使用可能面積とスループットを向上させることです。材料の除去量を減らすもう一つの重要な理由は、より薄い基板材料上に、数十マイクロメートルオーダーの寸法を持つより小さなブラインドビアやスルービアを形成することで、FPCのさらなる小型化を実現することです。

市販のCO₂レーザーは、波長が長いいため、30ミクロン未満の穴あけや切断工程を確実に再現することは困難とされています。したがって、特に高密度相互接続（HDI）の製造において、材料の無駄を最小限に抑えたり、小型化を実現したりするには、CO₂レーザーは最適な選択肢とは言えません。

また、レーザーは切断や穴あけを行う材料の領域に必然的に熱影響部（HAZ）を発生させるため、FPC部品の不良を減らすことも困難となります。

このHAZは、FPCの使用材料に望ましくない変化を引き起こし、材料の弱体化、ひび割れ、または歪みを生じさせる可能性があります。

したがって、HAZのサイズを縮小することは、部品の不良を減らすだけでなく、スループットの向上にもつながります。製造効率や品質を損なうことなくHAZのサイズを縮小する方法の一つは、短いパルスと高い繰返しパルス周波数を備えた高出力レーザーを採用することです。しかし、これらの特性を備えたものは、市販されている一般的なパルスCO₂レーザーでは提供できません。

FPCは、銅（Cu）、ポリイミド（PI）、その他の誘電体材料など、レーザーの吸収や反応が異なる様々な材料で構成されています。したがって、FPC製造システムは、それに応じてレーザーパラメータを調整できる必要があります。例えば、誘電体材料を切断する際、レーザーによって下層の銅（Cu）が損傷しないようにする必要があります。

フレキシブルプリント基板製造における MKS の強み

MKS は、多種多様なエレクトロニクスおよびパッケージング用途を含むレーザー工業分野において、数十年にわたりリーダーとしての地位を築いており、FPC の設計および加工において直面する課題を深く理解しています。当社は、この知見を独自の製品機能に反映させ、FPC 製造における優位性を実現しています。ここでは、その機能の一部について説明します。

短パルス・高繰返し周波数・高出力レーザー

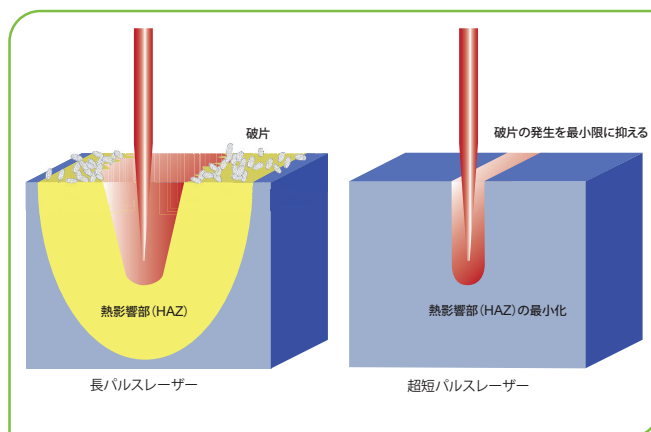
一般的に、パルスが短い（つまり高速である）ほど、切断や穴あけの品質が高くなるため、短いパルスと高い繰返し周波数を組み合わせたレーザーには利点があります。パルス幅が短いほど、強力なピーク出力が得られ、試料照射部で非線形吸収が起こって瞬時に材料が気化します。これにより、加工材料における熱伝達が極めて最小限に抑えられ、HAZ も大幅に小さくなります。これらすべてが、スループットの向上と部品の不良率の低減につながります。

市販されているパルス CO₂ レーザーの多くは、パルス幅がミリ秒またはマイクロ秒の範囲で、繰返し周波数は最大でも数百 kHz 程度ですが、対照的に、Spectra-Physics の UV DPSS レーザーは、ナノ秒およびピコ秒のパルス幅と、シングルショットから 10MHz までの繰返し周波数を特徴としています。

また、Spectra-Physics の UV DPSS レーザーは高い出力を発生させることも可能です。これにより、処理速度が向上し、歩留まりが向上するため、FPC 加工のスループット要件を満たすのに役立ちます。同時に、これらの Spectra-Physics レーザーは、短いパルス幅と高い繰返し周波数の利点により、速度を優先しても加工品質を犠牲にすることはありません。

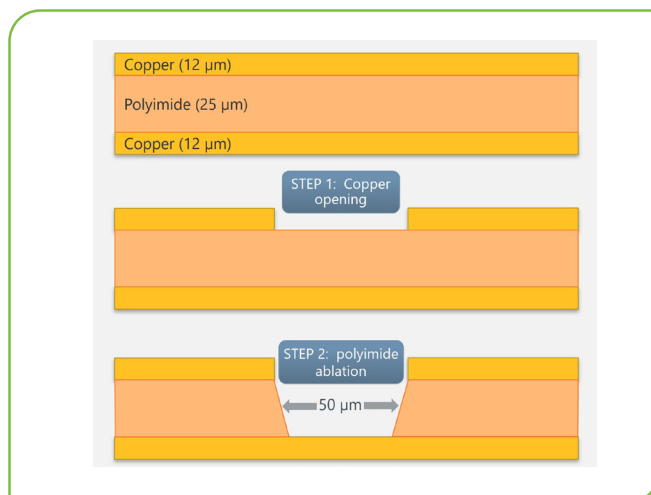
紫外線波長レーザー

UV 領域のような短い波長では、ビームスポットサイズを小さくする、より精密な集光が可能となるため、加工精度が向上します。これは、FPC 加工においていくつかの点で有益です。UV 波長がもたらすより精密な集光により、直線または曲線といった異なる形状でも、除去する材料の体積を小さくすることができ、無駄な除去量を削減できます。さらに、波長の短い UV レーザーが提供する高い集光性によってのみ、必要な 30 ミクロン未満のビア寸法を穿孔するのに十分なほど小さなビームスポットサイズを実現でき、FPC の小型化が可能になります。対照的に、CO₂ レーザーの赤外線（IR）領域では 30 ミクロン未満のレベルでの穴あけや切断をコンスタントに実現することができません。

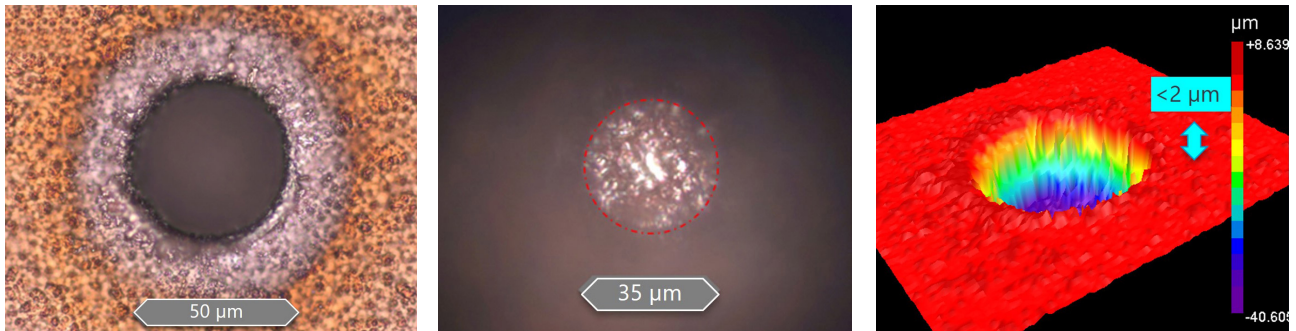


長パルス (ms) レーザー (左) と超短パルスレーザー (右) における、レーザーパルス幅が加工品質に与える影響。

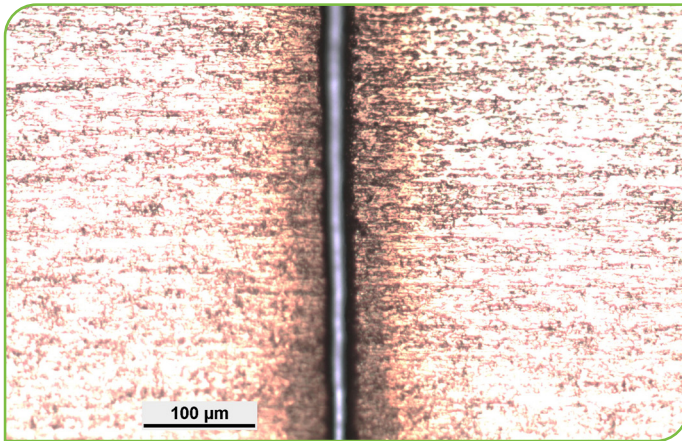
UV 波長は、Cu や PI など FPC に使用される様々な材料に良く吸収されるため、FPC の加工にも効率的に寄与します。例えば、Spectra-Physics の UV DPSS レーザーで実現可能な、より小さなビームスポットサイズと高いビーム強度により、Cu を効率的に除去できます。対照的に、同じタイプのレーザーでもビーム強度を低く設定すれば、下層の Cu 層を損傷することなく誘電体材料を切断することができます。



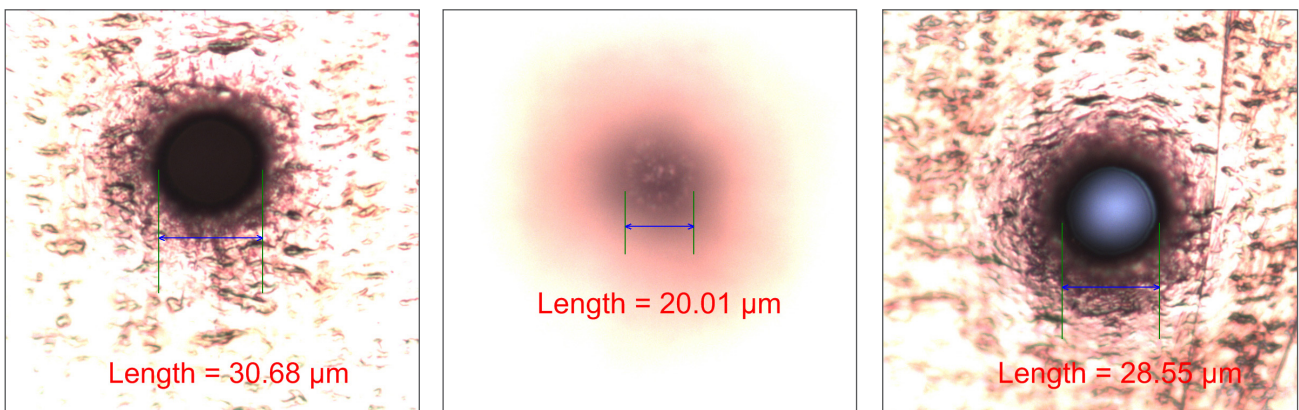
12 μm の Cu 層の間に 12 μm の PI が挟まれた、典型的な FPC 積層板におけるブラインドビアの模式図。



Spectra-Physics Talon Ace UV レーザーを用いた 12/25/12 μm Cu/PI/Cu FPC ブラインドビア加工の結果：(1) 入口ビア径 50 μm 、(2) 出口ビア径 35 μm 、(3) Cu エッジのバリ高さ 2 μm 未満、(4) スループット 11,500 ビア / 秒以上。



Spectra-Physics Talon UV レーザーで加工された 12/12/12 μm Cu/PI/Cu FPC ラミネートの、卓越した切断品質と小さな HAZ を示す光学顕微鏡写真。



2012 年 12 月 25 日、Spectra-Physics ピコ秒 UV レーザー IceFyre を用いた 12/25/12 μm Cu/ 改質 PI/Cu ブラインドビアのドリル加工。顕微鏡で上部および下部の Cu (左および中央) に焦点を合わせ、上部 Cu 表面から撮影したスループアの画像 (右)。このブラインドビアでは、上部の Cu 層および改質 PI 層がきれいにアブレーションされ、下部の Cu 層で停止しており、損傷は最小限に抑えられている。どちらのビアタイプも、アブレーション領域の縁に沿って HAZ が最小限に抑えられており、バリは検出されない。

ビームプロファイリングカメラおよび ビームアッテネーター

ビームプロファイルを分析する効果的な方法として、カメラベースのシステムが挙げられます。Ophir のビームプロファイリングカメラを使用すると、レーザービームのサイズ、形状、品質、およびモード構成をリアルタイムで観察・測定できます。また、カメラベースのシステムでは、レーザーの断面強度を測定し、レーザーモードの完全な 2 次元画像を提供することも可能です。FPC 製造で使用されるレーザーの出力を適切にプロファイリングを行うためには、通常、数桁オーダーにてその出力を減衰させる必要があります。このため、MKS は、ビーム本来の性質を損なうことがない、コンパクトで使いやすい光学系を備えた Ophir 製ビーム減衰器を提供しており、レーザー出力を測定可能なレベルまで容易に減衰できる設計となっています。ほとんどの FPC 製造におけるレーザープロファイリング用途には、Ophir LBS-300s シリーズ減衰器が推奨されます。

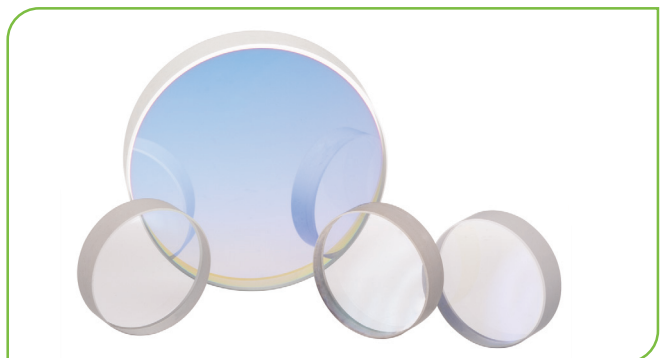
- 測定スペクトル範囲：UV から中赤外（mid-IR）
- 高解像度・リアルタイム表示
- 最高精度の測定
- 豊富な解析機能を備えた、ユーザーフレンドリーな BeamGage® ソフトウェアを標準搭載



高エネルギーレーザー用光学素子

Newport™ の標準カタログには、FPC 製造などで使用される、高エネルギーレーザーを想定して設計された数十種類の光学素子が掲載されています。ミラー、レンズ、ビームスプリッターキューブ、波長板は、355nm の波長に最適化された基板材料とコーティングを施し、さまざまなサイズや形状で容易に入手可能です。これらの高性能な光学素子は、高いレーザーフルエンスに耐えることができ、FPC 製造における多様なソリューションを提供します。

- ミラー、レンズ、ビームスプリッターキューブ、波長板
- 355 nm の波長に最適化
- 幅広い超高速光学素子のラインナップ
- 高い LIDT（レーザー誘起損傷閾値）



CO₂ レーザースキャンレンズ

FPC 製造（例えば、30 μm 以上のビアなど）に CO₂ レーザーを使用する場合、MKS では Ophir 製スキャンレンズも提供しています。これらのスキャンレンズは、FPC の先端、高精度ビア加工などに使用される 9.4 ミクロンレーザー微細加工装置向けにカスタマイズされています。Ophir スキャンレンズは、ガルバノミラーとの組み合わせにおいて、スキャン領域にスポットサイズの小さい、高度にテレセントリックな収束光束を供給することができます。

- 9.4 ミクロンレーザーにおける先端かつ高精度 微細加工向けにカスタマイズ
- 厳しい公差を満たす小さなスポットサイズ
- 高いテレセントリック性
- 高入射角に対応した独自の AR コーティング



MKSを選ぶ理由

基幹技術

最先端のプロセスのための
世界有数の技術力と
開発能力



実績のある パートナー

お客様の最も複雑な問題に
革新的で信頼性の高い
ソリューションを提供する
リーダーとして評価されて
います



オペレーショナル エクセレンス

事業のあらゆる側面での
一貫した履行



幅広い 製品ラインナップ

当社が従事する市場において、
最も幅広い製品と
サービスソリューションを提供



スペクトラ・フィジックス株式会社

本社

〒102-0073
東京都千代田区九段北 4-1-28
九段ファーストプレイス
TEL: 03-3556-2705
FAX: 03-3556-2718

大阪支社

〒550-0005
大阪府大阪市西区西本町 3-1-43
西本町ソーラービル
TEL: 06-4390-6770
FAX: 06-4390-2760

MKS Inc.

2 Tech Drive, Suite 201
Andover, MA 01810
TEL: +1 978-645-5500
TEL: +1 800-227-8766 (in USA)

Spectra-Physics, Inc.

1565 Barber Lane
Milpitas, CA 95035
TEL: (408) 980-4300
TEL: (800) 775-5273 (Sales in USA)
TEL: (800) 456-2552 (Service in USA)
FAX: (408) 980-6923

FPC 製造向け MKS 製品

MKS は、FPC 製造において幅広く活用されている多くの製品を提供しています。

詳細については、www.newport.com または www.spectra-physics.com をご覧ください。

MKS は、世界を変革するテクノロジーを実現します。最先端の半導体製造・パッケージング・電子・その他産業へ本質的な技術ソリューションを提供致します。

当社は、幅広い科学と工学の能力を応用して、プロセス性能を改善し、生産性を最適化し、世界をリードする多くのテクノロジーおよび産業企業の独自のイノベーションを可能にする計測器、サブシステム、システム、プロセス制御ソリューション、および特殊化学技術を生み出しています。

当社のソリューションは、最適化されたコネクティビティのためのパワー、速度、および機能強化の向上を可能にすることにより、高度なデバイス製造における小型化と複雑さの課題に対処するために重要です。当社のソリューションは、さまざまな産業用途でますます高まる性能要件に対応するためにも重要です。

詳細については、www.MKS.com をご覧ください。

BR-122501 Flex PCB パンフレット-A4_06/26、© 2026 MKS Inc. 仕様は予告なく変更される場合があります。MKS 製品は、米国輸出規制に従って提供されます。米国法に反する転用および譲渡は禁止されています。mks™ および Newport™ は、マサチューセッツ州アンドーバーにある MKS Inc. の商標です。