

レーザ直接構造化による 低コスト3D集積回路の形成

ダグ・グリース

すでに確立されたレーザ直接構造化(LDS)技術は、レーザ加工とメタライゼーションの工程を使用して、3次元成形インターコネクションデバイス(3D-MID)用の電気回路を形成し、表面実装部品を射出成形プラスチック上に搭載可能にする。

より狭い空間により高い機能を形成することに対するニーズが、機械および電気的设计者に対して、その形成を可能にする革新的な技術の開発をうながしている。LDS技術は10年ほどの歴史をもつが、この新しい技術は携帯電話の集積アンテナが最大の用途であった。それ以外の分野への応用が始まったのはごく最近のことだ。

LDSによる3D-MIDは、プラスチック成形部品を使用して作製され、部品の外面には回路パターンが形成される(図1)。この回路の形成では、まず独LPKF社製レーザシステムを用いてパタンのアブレーションを行い、次にレーザがトレースした場所だけを選択的にめっきするメタライゼーションが施される。また、高熱可塑性プラスチックと標準のリフローはんだを用いることで、表面実装部品の搭載も可能になる。この方法による設計と作製は、部品の高密度化、デバイスの小型化、軽量化、組立時間の短縮および信頼性の向上に利点があり、医療、自動車、各種産業、軍用／防衛用などの市場における新しい応用のシステムコストの低減にも役立つ。

3D直接構造化

LDSは特殊な熱可塑性プラスチック化合物の射出成形された部品の加工から始まった。この熱可塑性プラスチッ

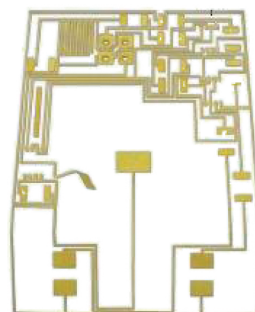
クは、高分子マトリックスの全体に有機金属添加物が混合されている。この添加物は基本的に有機化合物コーティングでカプセル封止された金属粒子で構成されており、熱可塑性プラスチックの固有の性質を大きく変えることはない。液晶ポリマ(LCP)、高熱ナイロン(PA6/6T)、ポリフタルアミド(PPA)、

テレフタル酸ポリブチレン(PBT)、PBT/PETおよびポリカーボネート/ABSプラスチックなどの広範囲の高分子系列を利用できる。

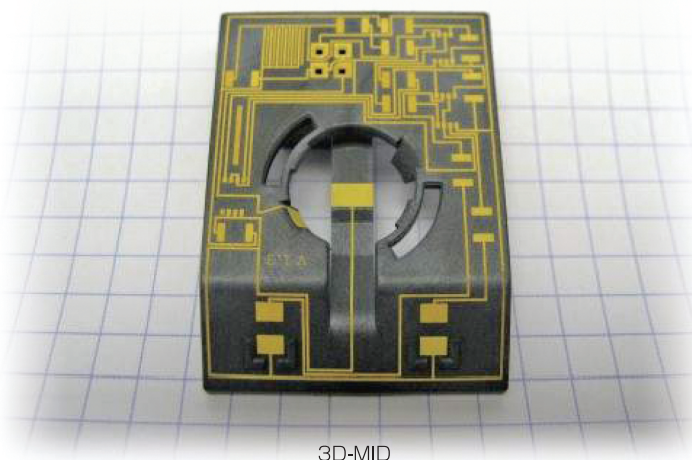
部品はLPKF社製レーザシステムに取付けられ、表面活性化の準備が行われる(LPKF社はレーザを用いて成形部品上に回路パターンを形成する特許を保有している)。表面活性化を行う前に、レーザには設計者が作成したCADデータによるパターン書込みプログラムが入力される。これは「網掛け」と呼ばれ、十分に構造化された部品の作製に



射出成形熱可塑性
プラスチック



集積回路パターン



3D-MID

図1 3D-MIDは射出成形部品と電気回路パターンを組合せる。

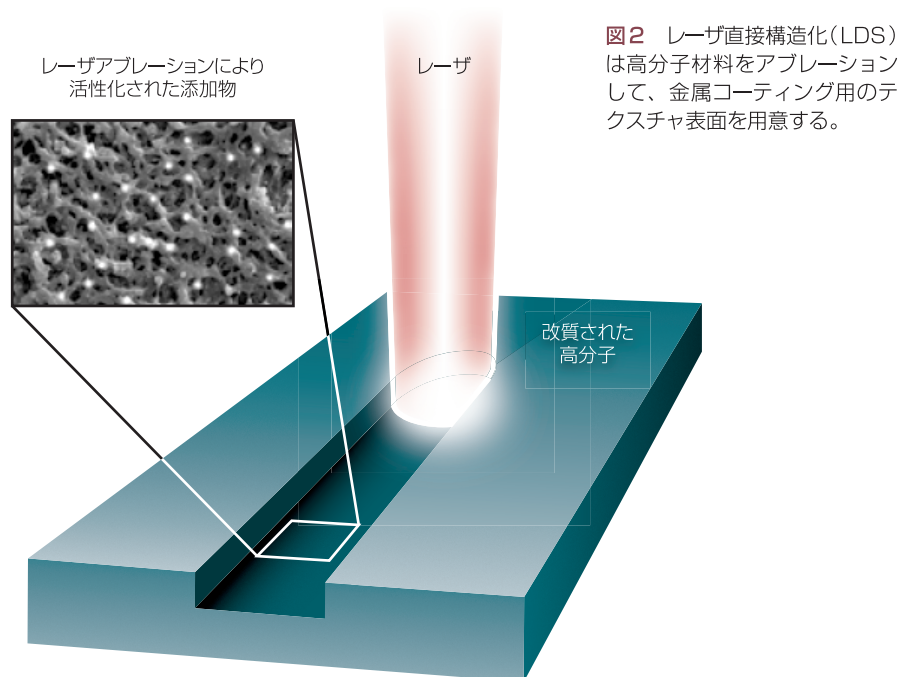


図2 レーザ直接構造化(LDS)は高分子材料をアブレーションして、金属コーティング用のテクスチャ表面を用意する。

は重要な工程になるが、それは回路の配線の配置によって、レーザーがそれを追尾して走査するには、最適化したパタンのプログラム入力が必要になるためだ。

回路パターンは16Wの半導体励起によるネオジウム添加オルソバナジウム酸イットリウム(Nd:YVO₄)レーザーを用いて形成される。音響光学Qスイッチは部品の均一活性化に重要な非常に高いパルス間の安定性(1.5%以上)が得られる。この1064nm光源は20~100 kHzのパルス繰返し率をもち、レーザーシステムは3Dビームの配送用の高速走査装置と光学z軸を備えている。4.0m/sの最大走査速度において、65μmのビーム径からは回路パターンおよび次工程の準備のためのパッド位置が形成される。

第1段のめっき加工からは、エッチングする材料に対してレーザーパラメータが最適化されているか、それとも調整が必要になるかの情報が得られる。現在の利用可能なLDS射出成形品質の等級幅に基づいて、パワーは2.0~7.0Wの範囲に、周波数は40~100kHz

の範囲に、速度は2.0~4.0m/sの範囲に設定される。それぞれの材料に対して、これらの三つのパラメータを適切に組合せた装置が推奨されている。しかしながら、網掛けパターンから最適エッチング表面が得られない場合は、三つのパラメータを調整することができる。

レーザーが射出成形部品の表面に接触すると、二つの異なる効果を伴う活性化が起こる。一つ目はレーザーのエネルギーにより有機金属微粒子の有機コーティングが破壊され、金属微粒子が部品の表面に露出するという効果。二つ目は部品がレーザーの軌跡に沿ってエッチングされ、メタライゼーションを受け入れるテクスチャ加工された表面トポロジーが形成される効果である(図2)。材料の種類とレーザーの設定(主としてレーザー出力)に対応して、アブレーション効果に基づく非常に浅い溝(深さ10μm以下)または非常に小さなリッジが形成される。レーザー照射を受けない有機金属表面は影響を受けないため、レーザーが走査した場所だけが選択的にめっきされる部品が得られる。

特許取得済みのSelectConnectメタライゼーション工程の第1段階では、無電解銅層の堆積が行われる。その金属粒子をもつテクスチャ表面は銅の堆積を起動する電気陰性ポテンシャルを生成する。銅は耐酸化性が劣るため、ほとんどの3D-MIDは無電解ニッケルによるめっきが付加される。最後の浸漬による金属層の形成は任意の選択になるが、金属層は優れた耐酸化性ばかりでなく、表面実装部品の搭載に理想的な表面にもなる。めっき層の標準の厚みは、銅が100~600マイクロインチ(μin)、ニッケルが50~100μin、金が3~8μinになる。用途によって(例えば供給する電流が大きい回路などの場合)は、銅とニッケルの厚みをさらに大きく設定できる。浸漬による金属層の堆積は自己触媒過程ではないため、その厚みは8μinまでに限られる。より厚い金属層が必要な場合は金の電解めっきが選択肢になる。

回路の応用と制約条件

今日のLDSは無線アンテナと電流供給回路が最も一般的な応用になっている。われわれは現在、携帯電話の内部に機能性プラスチック部品を取入れ、この部品にアンテナパターンを直接形成して、分離された金属アンテナを必要としない集積アンテナを作製している。この応用分野では、LDSの部品の利点、つまり高密度化、小型化および組立作業時間の短縮の効果を生かして、携帯電話に重要な大量生産とコスト低減を可能にしている。また、LDS技術は高速プロトタイプングを容易にするため、異なるアンテナパターンを試作して評価できる。今日のLDS用LPKF社製レーザーの大部分は中国における携帯電話アンテナの製造に使われている。

LDSに固有のもう一つの機能は電流供給回路と機能回路を一体化できるこ

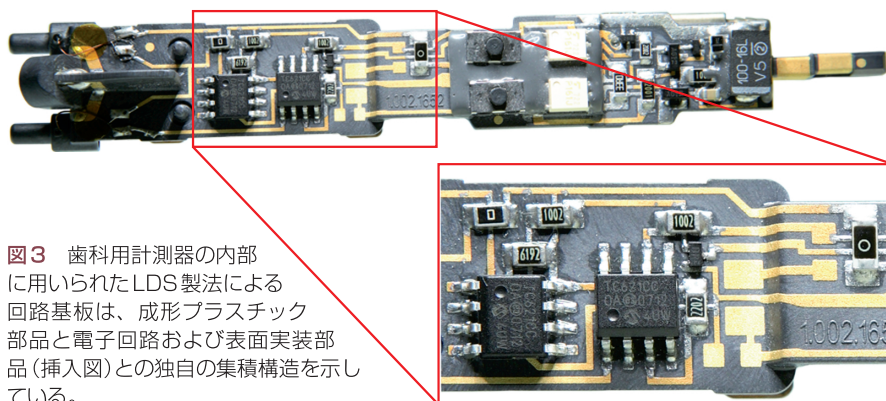


図3 歯科用計測器の内部に用いられたLDS製法による回路基板は、成形プラスチック部品と電子回路および表面実装部品(挿入図)との独自の集積構造を示している。

図4 エナメル質の虫歯病巣(エナメル質が何らかの理由で脱石化または損傷した部分)を検査するハンドヘルド式レーザーペン。LDS回路を使用して小型化と計量化を実現している。従来の製法に比べると、コストは78%という大きな低減が達成されている。(資料提供:米カボデンタル社)



とにある。この機能の応用は携帯電話部品以外の分野にも拡大している。要するに、LDSは機械的プラスチック部品と電気回路とを結合できるが、LDSを使わなければ、分離された回路基板またはフレキシブル回路が必要になる。

実装上の制約条件に直面すると、設計者は当然のことながら、エンベロープを回路上に押し付け、次第に狭くなる配線(回路の軌跡)と空間(軌跡間の間隙)を設定しようとする。LDSビームの直径は $65\mu\text{m}$ であり、これが理論上の絶対最小線幅になるが、損傷のない回路を形成するには少なくとも2回のレーザー走査が必要になるため、現実的な最小線幅はビーム径の少なくとも2倍になる。配線間の間隙は、回路パターンを形成するめっき工程において二つの平行配線間の短絡(ブリッジング)が起こらない十分な余裕度が限界になる。今までの実験によると、生産に適すると考えられる最小の線パターンと空間パターンの幅は、前者が 0.008in (8ミル)、

後者が 0.010in (10ミル)になる。これよりもわずかに狭いパターンの形成も技術的には可能だが、生産工程において高い歩留りを確保するには、設計のすべての面において十分なロバスト性が得られるように、注意深い配慮が必要になる。

付加する表面実装部品の柔軟性を確保するために、われわれは基本的に回路基板を機械的プラスチック部品の一部として構成することにした(図3)。LCPとPPAの高分子は通常のリフローはんだの温度に耐えられ、鉛なしリフローはんだが必要になる用途では、独BASF社のUltramid PA6/6T樹脂がその高温に耐えられる。プラスチック部品にはビアが形成されて部品の両側の接続に使われる。この構造は設計者に対して、部品の両側にも回路を付加する柔軟性を与える。レーザーはビアの表面を活性化するため、ビアは片側または両側を円錐構造の簡単な設計にすれば接続を行うことができる。

静脈内調整装置、グルコース計、歯科用器具、補聴器、医用ペンチ、体温計および洗浄器具に加えて、レーザーペンのDIAGNOdentもLDSの優れた医療応用の例になる。このハンドヘルド式のレーザーは虫歯の病巣(エナメル質の脱石化または損失領域)を検出する(図4)。このペンで特筆すべきことは、LDS 3D-MIDを用いて作製した部品を使用して、卓上型からハンドヘルド式の形状への再設計が行われ、サイズ、重量およびコストが大幅に低減されたことだ。投資回収率のケーススタディが行われ、LDSをスイッチリングの組立に応用すると、組立時間は20秒から6秒に短縮され、組立歩留りは向上し、部品点数は8から3に減少し、コストは78%も低減されることが証明された。

自動車分野においては、ハンドルのハブ、ブレーキセンサ、位置決めセンサなどへの応用が想定されている。産業分野の応用には集積コネクタ、自動化ピペット、モーションセンサ、RFIDアンテナなどが含まれる。自動車応用では回転ブレーキセンサの高温高湿(85°C の温度と85%の相対湿度)試験が行われ、300のセンサを1000時間にわたって使用しても、欠陥は発生しないことが証明された。この場合のセンサ材料はVectra E840i(LCP)が使用された。これらの結果はSelectConnect工程を用いたLDS加工のセンサがロバストであり、さらなる開発が期待できることを示している。

5年前のLDS技術には集積回路の設計を目的にしたわずか2件の応用しかなかった。現在は25件の応用があり、その数はさらに増加している。

著者紹介

ダグ・グリース(Doug Gries)はセレクトコネクタ・テクノロジーズ社(SelectConnect Technologies)の事業開発担当バイスプレジデント。
e-mail: dgries@selectconnecttech.com