

レーザ協会 第201回研究会 レーザを用いた微細加工技術の最新動向

編集部

さまざまな産業分野を支えているレーザ加工技術。産業の高度化に伴い、その技術は目覚ましく発展し続けてきた。東京都市大世田谷キャンパス1号館にて3月12日(水)に開催されたレーザ協会第201回研究会において、4件の講演が行われ、各分野から高精度な微細加工の最新技術が紹介された。

半導体分野における 基板穴あけ用微細レーザ加工： 三菱電機 中村直幸氏

基板穴あけ用レーザ加工機は、別名「レーザドリル」とも呼ばれ、スマートフォンやデジタル機器に内蔵される高密度ビルドアップ配線板の微細な層間接続穴(ビア)をレーザ加工する装置だ。1990年代半ば、素子の微細化にドリル加工技術が追いつかないという事態になり、ビルドアップ層を積層させるビルドアップ工法により高密度の多層基板が開発された。要求に応えることができた一方で、高密度実装のためには絶縁層ごとにブラインドビア(止まり穴)形成が必須となった。

加工精度100 μm が限界のドリル加工より、優位性があるがパターンごとのフォトマスクが必要なため初期コストがかかるフォトビア加工に対して、レーザ加工は多様な加工パターンに容易に転換できるため、ビア形成に最適と言える。中村氏は1秒間に6000穴加工を可能にした三菱電機のCO₂レーザビア加工機の動作を動画で紹介し、自社開発のガルバノスキャナー構成を「スピードアップが注目されがちだが、位置精度をいかに確保するかがかなり重要」と説明する。さらなる微細加工を実現するUVレーザ加工について同氏は「UV領域は、さまざまな材料で

吸収率が高く、短波長になればなるほど集光特性が向上するという利点がある。当社で製品化した小径対応パッケージ基板向け加工機は $\phi 30\mu\text{m}$ 未満のビア加工も可能」と述べた。

半導体市場では、チップ微細化に伴い、3～5 μm のビア加工が必要になると想定されており、5 μm をいかに市場に提供していくのが課題となる。同社は近年、世界最高出力の深紫外ピコ秒レーザ加工機を開発。2022年10月に6 μm 以下の極小径穴あけ加工を、2024年5月には3 μm の加工を実証した。中村氏は、次世代半導体パッケージへの展望としてチップレット時代におけるレーザ加工技術への期待を挙げる。レーザの特長を生かして、よりシンプルで低コスト、低TATを実現したいと講演を結んだ。

ウォーターガイドレーザによる 微細加工：牧野フライス製作所 金赫氏

ウォーターガイドレーザ加工は、水と空気の境界面での全反射現象を利用して、レーザビームを材料に照射する技術だ。通常のレーザ加工とは異なり、加工対象物に焦点を合わせるのではなく、水の流れに焦点を合わせ、水と空気の屈折差を利用してレーザを誘導するため、ウォータージェットの層流安定

範囲ならどこでも加工が可能である。ウォーターガイドレーザの特長の1つに焦点距離の長さが挙げられる。通常のレーザ加工機もフォーカスレンズを通すという点では構成は同じだが、レーザ加工機は焦点位置が低く加工範囲が数mm程度にとどまるのに対し、ウォーターガイドレーザは、ウォーターチャンバーに内蔵されたノズルの働きにより焦点距離が長く、水圧やノズル径によって異なるものの加工範囲は20～40mmと広がる。加えてウォータージェットの直進性により加工後の切断面がテーパーではなく、ストレートな切断面が得られる。焦点距離の調整も不要だ。厚板加工が容易、加工物表面にデブリが付着しにくい、加工物裏面にドロロスがないなど、通常のレーザ加工にはないさまざまな特長がある。

金氏は半導体業界向けに開発されたウォーターガイドレーザ加工機LB300と、発電用タービンへの冷却用穴の加工を目的に開発されたジェット軸の長いLB500、それぞれの特徴を説明するとともに、半導体市場での各種セラミックス加工、航空機タービンプレードの冷却穴、CMC(セラミックス基複合材料)の事例を紹介した。ウォーターガイドレーザ加工機の魅力は高アスペクト比にあり「展示会などでは、この加工機を使ってどこまで厚い材の加工ができるのかとよく聞かれる」と話す。傾斜の加工もアピールポイントとなり、角度がついた穴加工でもチッピングはほとんど見られないと説明する。講演後、会場からは「ウォーターガイ

ドレーザに通しているレーザの種類、波長」、「斜め加工におけるウォーターガイドレーザ加工機の優位点」について多くの質問が寄せられていた。

超短パルスレーザによるマイクロ・ナノ加工とインプロセスモニタリング:東京都市大 小玉脩平氏

超短パルスレーザを材料に照射すると、その内部に対してナノ周期構造が創成される。現在、ナノ周期構造を使って材料表面に新たな機能を付与できないかという研究が進められているが、さまざまな材料に及ぼす創成の過程がいまだ解明されておらず、制御の難しさが課題として挙げられている。一方で、創成の容易さ、加工工程の少なさ、加工時間の短さ、加工能率の高さにより半導体材料や、難削材などいろいろな材料への加工、大面積・立体形状への加工も可能と考えているという。

創成に重要なのは、材料にレーザを入射した直後から、熱が発生するまでの衝突緩和時間で、材料によって異なるが、数ピコ秒から数十ピコ秒とされている。この衝突緩和時間以前にレーザの入力が終わると、プラズモンの影響が支配的となり、熱の影響が抑制されて、創成されやすいと言われている。そのため、フェムト秒レーザを使って創成する研究が行われている。原理としては、前述のように未解明であるものの、1つは表面散乱光で、レーザが照射され、散乱する光と入射する光の干渉によって周期構造が創成される理論である。もう1つは表面プラズモンによる理論が考えられている。どちらも波長に大きく依存する。小玉氏は、ナノ周期構造の創成メカニズム、さまざまな材料への照射、構造・比較をハイスピードカメラで撮影した動画の解説を交えて詳細に解説。パルス幅の影響、パ



ルス幅とピッチ幅の関係、結晶方位における構造の違いをはじめ、平面・研磨・切削それぞれのレーザ照射について説明する中で、パルス幅、波長、走査速度などを制御することで任意のナノ周期構造を高能率で創成することが可能と結論付ける。また、レーザ照射によるV溝への微細構造創成研究から、より複雑なマイクロ・ナノ構造を創成する取り組みを紹介。会場から「表面の観察がよくできている」との声があり、「レーザ照射の深さ」、「V溝のピッチ幅の限界」についての質問が挙がっていた。

微細レーザ加工機「ABLASER」と加工事例の紹介: ニデックマシンツール 赤間知氏

微細レーザ加工機「ABLASER」は、短パルスレーザを採用しレーザヘッドや制御機構など独自技術が融合した加工機だ。「ABLASER」はアブレーションとレーザを組み合わせた造語である。一般的なレーザは原理から見ても、加工時に熱影響層やマイクロクラックが残りやすい。一方、短パルスレーザは、目立ったマイクロクラックや表面上の残骸がないなど、熱影響を抑えた加工ができる点が大きな特徴である。加えて、レーザ光の移動には、ガルバノス

キャナーなどを用いたパーカッション加工が一般的だが、「ABLASER」はプリズムローテーター方式を採用している。赤間氏はその原理を動画で説明した。「プリズムと集光レンズの構成で、プリズムの位相をずらすことでレーザをずらす。この状態でプリズムを同期させて回転させることできれいな円を描く」。プリズムの位相を変えて同期させながら精度よく回転させる技術については、歯車の工作機械の技術が使われている。赤間氏がニデックマシンツールを「異なる歴史と技術を持った工作機械メーカーが合流してできた会社」と説明するように、「ABLASER」は歯車工作機械、大型工作機械を展開してきた同社の技術を融合した加工機だ。

微細加工事例の紹介では、SUS420、超硬合金、SKD1などの金属材料や、単結晶シリコンなどのセラミック系、アルミナなどの脆性材料への加工を具体的に解説。金属材料では高アスペクト比における微細穴加工、光学系特殊仕様による微細穴加工をはじめ、異形穴加工を解説した。穴加工以外では、さまざまな形状への溝加工を示し、加工時の割れ、欠けが発生しやすい脆性材料では近年問い合わせの多い超微細穴加工事例を紹介した。