DUV レーザーで半導体基板に世界最小の穴あけ加工を実現

――4 法人で半導体後工程技術を開発――

物性研究所　LASOR　　小林 洋平

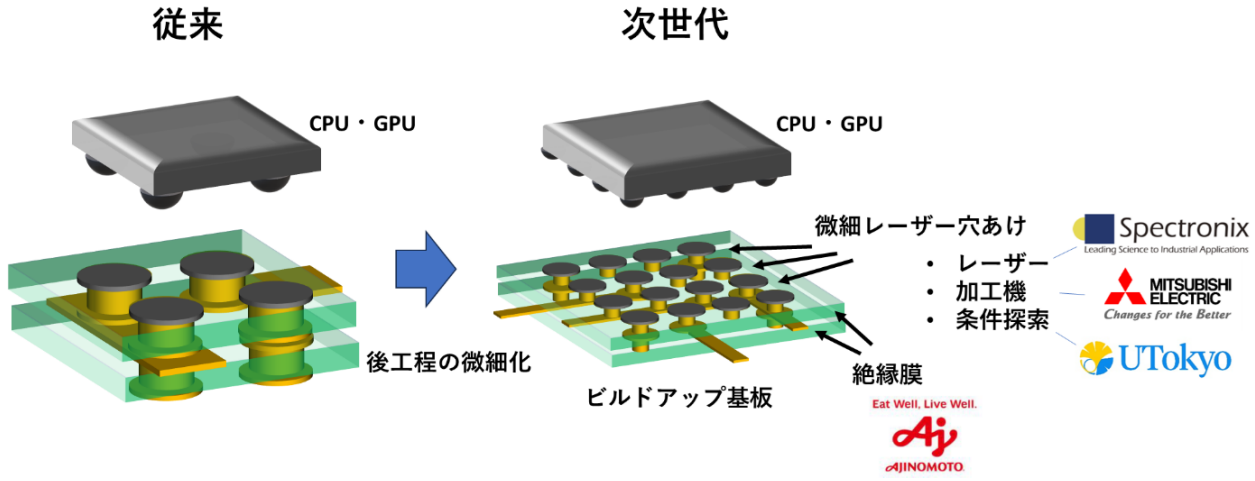
2024 年 5 月 31 日付で「DUV レーザーで半導体基板に世界最小の穴あけ加工を実現」のプレスリリースをしました。リリースのポイントは以下の 3 つです。

◆次世代半導体基板加工技術として不可欠な、深紫外(DUV)レーザー加工機を用いた層間絶縁膜への直径 3 マイクロメートルの微細穴あけ加工を実現しました。
◆現在チップ実装基板の層間配線として用いられているのは、直径 40 マイクロメートル穴であり、一桁小さい微細穴あけ加工技術の実現は、半導体実装基板の高密度化へ貢献します。
◆半導体後工程におけるレーザー微細穴あけ加工技術の向上により、次世代チップレットの高機能化が期待されます。

半導体の微細化に伴って必要となる技術開発についての内容となります。概要図を下に示します。近年 EUV 露光技術が進み、半導体チップの配線幅は小さくなってきています。台湾の TSMC が世界で最先端の 3 nm ノードプロセスを市場に出しています。iPhone 15 pro やアップルの M3 を載せた MAC を使っている人はこの最先端のプロセスの恩恵を受けていることになります。ちなみに 3 nm ノードでは 3 nm の線幅の回路と誤解している人がいますが、型番のようなものです。原子が 10 個しかない電線の心配をする人が物性研にはいるかもしれませんが、そこまで細かい線幅は現在の EUV 露光ではできませんし、この先もそのようなものは計画されていません。

チップのプロセスノードが微細化する一方で、チップのサイズは大きくなってきています。チップのサイズがレチクルサイズを超え、歩留まりが落ちています。一か所でも露光が失敗するとチップが使えないからです。また、300 mm ウエハからとれるチップの数も少なくなり、円形のウエハの無駄も増えます。このような理由で、チップサイズを小さくして基板上で配線する、いわゆるチップレットへの移行が進んでいます。機能ごとに分けられたチップをビルドアップ基板と呼ばれる多層基板の配線で結合する方式の技術開発が進んでいます。

そのためにはビルドアップ基板で微細な配線をしなければなりません。ビルドアップ基板は多層構造になっています。層間で信号を繋ぐにために微細な穴がたくさん空いています。この穴はビアと呼ばれていますが、現在のビアの直径は 40 ミクロン程度です。この穴は炭酸ガスレーザーを用いたレーザー加工機で空けられています。炭酸ガスレーザーは波長が 10 ミクロンですので、これ以上小さい穴をあけるには適していません。ビアの微細化を進めるには波長の短いレーザーを用いる必要があります。



概要図：半導体基板へのレーザー微細穴あけ加工技術

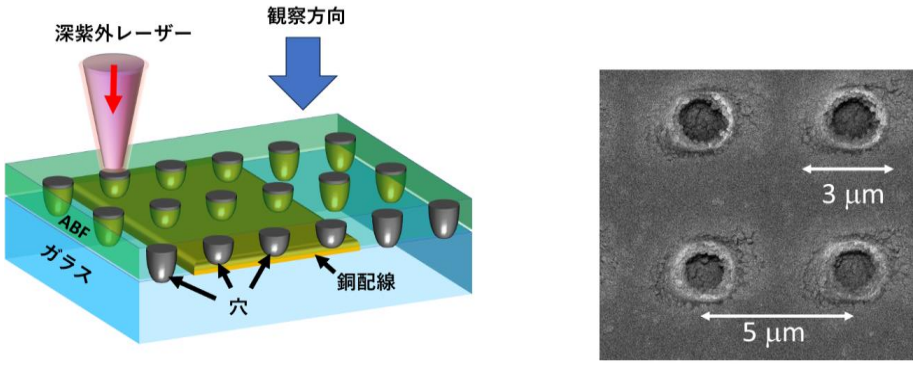


図 1：味の素ビルドアップフィルム®（ABF）にあけた微細穴を上から見た電子顕微鏡写真

左図に示すように、ガラス基板の上に一部銅の配線を配置し、その上に 3 マイクロメートル厚の ABF を作成。上から DUV レーザーを用いて 5 マイクロメートル間隔で直径 3 マイクロメートルの穴をあけました。右図の電子顕微鏡写真のように、現在の実装技術よりも一桁程度小さい穴をあけることができました。

このプレスリリースは、半導体基板に世界で一番小さい穴あけに成功したというものです。これを達成するためには東京大学だけではできません。我々は TACMI コンソーシアム(http://www.utripl.u-tokyo.ac.jp/tacmi/)に参画している 4 法人で協力してこの目的を達成することにしました。ビルドアップ基板の絶縁材料を作っている味の素ファインテクノ株式会社、深紫外レーザーを開発しているスペクトロニクス株式会社、レーザー加工機を開発している三菱電機株式会社、そして東京大学の 4 法人です。味の素は PC のビルドアップ基板のシェアをほぼ 100%持っていますし、三菱電機は半導体基板穴あけ加工機では世界シェア 1 位です。スペクトロニクスは波長 266 nm の深紫外レーザーでは世界で一番高出力レーザーを開発しています。東京大学は、AI を用いてレーザー微細加工の条件を求めることを得意としています。

東京大学はガラス基板上に銅を蒸着したのちに、レーザー加工により銅をパターン状に削り取り、微細な銅の配線を作成しました。味の素ファインテクノが前記銅配線層上に薄膜 ABF を積層することで銅上に 3 マイクロメートルの絶縁層を形成しました。(図 1 左)。スペクトロニクスは波長 266 ナノメートルの DUV 高出力レーザーを担当し、三菱電機は深紫外線用に特別に開発したレーザー加工機の光学系の工夫を行い、集光サイズを従来よりも小さくする改良を行いました。東京大学で AI を活用した条件探索を行った結果、エッチング技術を用いることなくレーザー加工のみで 3 マイクロメートル直径の穴を ABF 上に作成することができました（図 1 右および図 2 右)。図 2 右を見ると、ABF にのみ穴があき、下の銅配線やガラスは削れていないことが分かります。この技術を用いると、自由な穴あけパターンを基板上に高速に作成することができます。

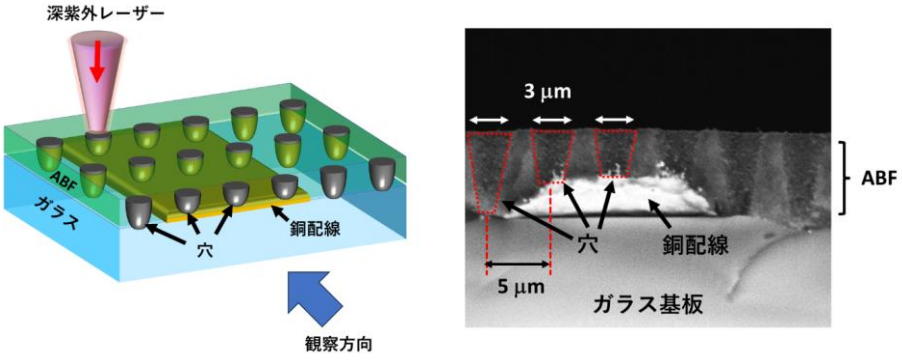


図 2：作成した微細穴の断面電子顕微鏡写真

ABF に直径 3 マイクロメートルの穴が 5 マイクロメートル間隔であき、銅の配線およびガラス基板まで貫通している様子がわかります。

本成果は、半導体業界における後工程ロードマップにおいて重要なマイルストーンとなるものです。レーザー加工機で次世代の微細穴あけ加工が可能であることを示したことで、半導体のさらなる微細化において、低コストで自由度の高い基板加工が可能であることが分かりました。今後さらなる微細化に取り組むとともに、複雑化するチップレットの製造工程における技術課題について、レーザー加工で対応可能な範囲を拡大するための研究・技術開発を進めていきます。また産業応用についても、大手半導体メーカーなどに本技術の周知を進める方針です。

4 法人は今後も連携して、半導体パッケージ基板のさらなる微細化や高品位化を目指し、次世代半導体産業における日本の競争力強化に貢献してまいります。

本成果の技術に関する詳細は、2024 年 5 月 28 日からアメリカ・デンバーで開催されている国際会議 ECTC2024 で報告されました。

本研究の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「光・量子を活用した Society5.0 実現化技術」および光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)「光量子科学によるものづくり CPS 化拠点(JPMXS0118067246)」の支援により実施されました。

発表者・研究者等情報

東京大学
物性研究所
小林　洋平　教授
兼：光量子科学連携研究機構
谷　峻太郎　助教（研究当時）
乙津　聡夫　特任研究員

大学院理学系研究科
田丸　博晴　特任教授
兼：光量子科学連携研究機構

味の素ファインテクノ株式会社
真子　玄迅　代表取締役社長
（プロジェクト発足当時：電子材料事業部長）

三菱電機株式会社
先端技術総合研究所
湯澤　隆　　産業オートメーションシステム技術部 部長
中村　直幸　　同　　主席研究員

スペクトロニクス株式会社
岡田　穣治　取締役

学会情報

学会名： ECTC(2024 IEEE 74th Electronic Components and Technology Conference)

題　名： Laser micro drilling of around 3 microns into Ajinomoto Build-up Film

発表者： Toshio Otsu, Shuntaro Tani, Shoko Nagayama, Ryo Miyamoto, George Okada, Naoyuki Nakamura, Junichi Nishimae, Hiroharu Tamaru, and Yohei Kobayashi

URL: https://www.ectc.net/program/74-ECTCAdvance-Web-Final.pdf