

多岐にわたるデバイス分野で活躍する常温ウェーハ接合装置

Wafer Bonder Applicable to Devices in Various Fields



井手 健介^{*1}
Kensuke Ide

後藤 崇之^{*2}
Takayuki Goto

内海 淳^{*2}
Jun Utsumi

鈴木 肇典^{*3}
Takenori Suzuki

接合材料(ウェーハ)の表面を真空中で活性化して接合する常温接合技術は、全く熱を加えずに強固な接合が可能であり、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)の封止パッケージングを中心に活用が進められてきた。しかし近年、常温接合の持つ接合材料の多様性を利用し、発光素子、高周波デバイスなど MEMS 以外の分野への適用が進んでいる。当社では、各ウェーハサイズに対応し、研究用途からデバイス量産に適合する常温ウェーハ接合装置をラインアップしており、さらに各種の接合サポートサービスを提供することにより常温接合技術の応用拡大を進めている。

1. はじめに

常温接合技術は、古くから原理は知られていたが、実際の産業分野での応用が始まったのはごく最近である。熱を加えなくても強固な接合が可能であることから、最初に MEMS デバイスのウェーハレベルパッケージングから応用が始まった。しかし、この1、2年でほかのデバイス分野での応用が広がりつつある。

2. 常温接合の原理と特徴

常温接合は、図1に示すように、真空中で原子やイオンの照射を行い、接合面上の酸化膜層や吸着層を取り去り、活性化された接合面同士を接合する技術である。

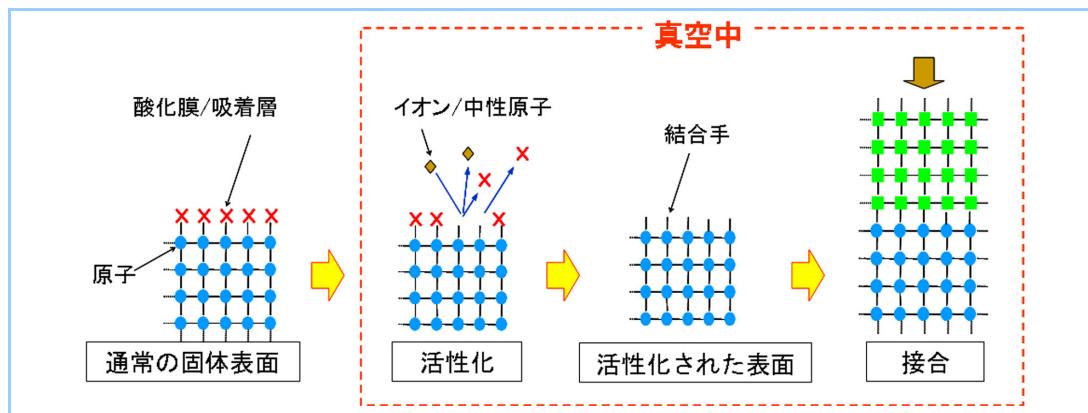


図1 常温接合の原理

真空中で接合界面をイオンや中性原子で活性化することにより接合する。

*1 工作機械事業部技術部主席技師

*2 技術本部先進技術研究センタープロジェクトグループ主席研究員

*3 工作機械事業部技術部

一切の熱を加えずに強固な接合が可能であり、以下の特徴を持つ。

- (1) 室温で母材並みの接合強度が得られる。
 - (2) 接合による熱歪みが生じない。
 - (3) 加熱・冷却が不要であり、高い生産性が得られる。
 - (4) シリコン系材料、化合物半導体、酸化物、金属など広範にわたる材料の接合が可能である。
- また異種材料同士の接合も可能である。

3. 当社の常温ウェーハ接合装置

当社では、各種材料のウェーハ径に合せ、また研究・試作用途からデバイス量産用途まで設備の目的に応じ、各種の常温ウェーハ接合装置をラインアップしている(図2)。



図2 当社常温ウェーハ接合装置のラインアップ

ウェーハサイズは、4インチ、6インチ、8インチの3種に対応しているが、その他のサイズや標準ウェーハ形状以外の形状に対しても対応可能である。

いずれの装置も、ウェーハ搬送機構、精密アライメント(接合する2枚のウェーハの位置合せ)機構を内蔵しており、導入後短時間で実生産に使用できる。また、接合装置の最大のポイントである、精密アライメント($2\mu\text{m}$)と接合時の高荷重印加(100kN)を可能としている。

デバイス量産用途を目的とした全自动接合装置は、10セット(20枚)のウェーハを順次接合する仕様であるが、ウェーハ搬送、アライメントなどすべての動作が自動化されている。さらに、10セットの接合それぞれに個別の接合条件を設定できるため、多品種少量の生産に対しても柔軟に対応できる。研究試作用途、量産用途(8インチウェーハ対応)の2機種の仕様を表1に示す。

表1 研究試作用接合装置と量産用接合装置の仕様

	半自動接合装置 (研究試作、小・中量生産用)	全自动接合装置 (量産用:200mm 対応)
型式	MWB-04/06R	MWB-06/08AX
処理単位	1セット	10セット(最大)
ウェーハサイズ	100mm/150mm	150mm/200mm
運転形態	半自動	全自动/半自動
貼り合せ精度	$\pm 2\mu\text{m}$	$\pm 2\mu\text{m}$
表面活性化	イオンガス	イオンガス
圧接機構	最大印加荷重 20kN	最大印加荷重 100kN
アライメント方式	赤外線透過・反射方式	赤外線透過・反射方式

4. 常温接合の適用分野と接合事例

既に述べたように、常温接合は、MEMS 分野から応用が始まった。しかし、近年常温接合が広範な材料を接合できることや、固相の直接接合を室温で実現できることに着目し、応用分野が拡大している。常温接合の応用を以下のようなカテゴリーに分類し、接合事例とともに解説する。

(1) MEMSを中心としたウェーハレベルパッケージング.

これは、MEMS デバイスが多数形成されたウェーハに封止用のウェーハを接合し、封止パッケージングを行う方式である。個片化された個々のデバイス単位でパッケージングを行う方式に比べ、コスト、歩留まりの双方で大きなメリットを持つ。ウェーハレベルパッケージングの模式図を図3に示す。また、実際に加速度センサをウェーハレベルパッケージングした例を図4に示す。この例では、デバイスの形成されたウェーハに封止用のウェーハを上下に接合する3層接合によりパッケージングを行っている。また、ウェーハレベルパッケージングは MEMS のみでなく、水晶デバイスの分野でも広がりつつある。

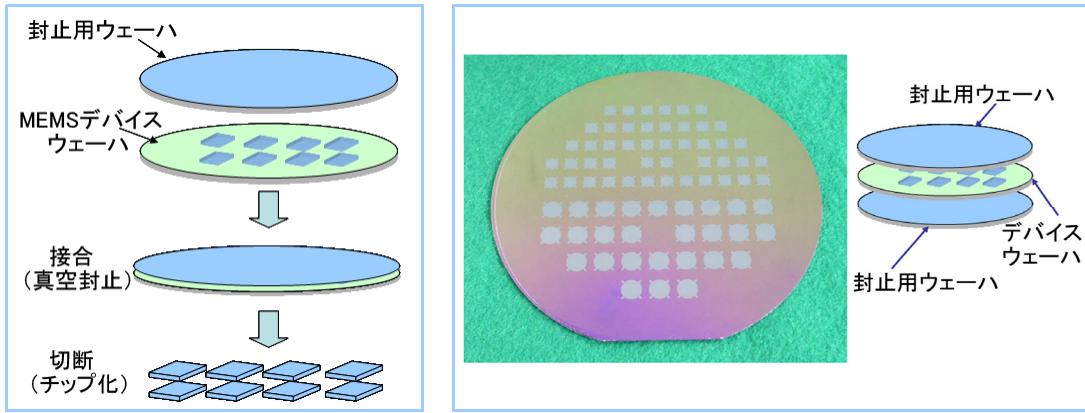


図3 ウェーハレベルパッケージングの模式図

封止用ウェーハとデバイスウェーハを
ウェーハレベルで接合後チップ化する。

図4 加速度センサのウェーハレベルパッケージング例
センサの形成されたウェーハの上下に封止用のウェーハを接合した例

(2) 機能性ウェーハの製造.

酸化物や誘電体、光学材料など異種のウェーハを接合することにより、機能性ウェーハを作成し、その後機能性ウェーハに対し微細加工を行い、デバイスを製造する。特に室温で接合できることから、熱膨張率差の大きな材料の接合に適している。光学デバイスや高周波デバイスで応用できる。接合事例として誘電体材料であるニオブ酸リチウム(LiNbO_3)とシリコンウェーハの接合事例を図5に示す。ニオブ酸リチウムとシリコンは、熱膨張率が大きく異なるが、常温接合を適用することで高品質な接合が可能である。

(3) 直接接合ができることによる高付加価値デバイスへの応用.

例えば半導体材料を直接接合することで効率を向上させる、発熱源と冷却層を直接接合することにより冷却効率を向上させるなどの用途で用いられる。主として発光デバイスで応用できる。接合事例として窒化ガリウム(GaN)とシリコンの接合事例を図6に示す。窒化ガリウムは、発光デバイス、高周波デバイス、電力用デバイスの材料として近年着目されている。また、炭化シリコン(SiC)とシリコンの接合事例も併せて図7に示す。炭化シリコンは、高効率電力デバイスの材料として用いられる。



図5 ニオブ酸リチウム(LiNbO_3)
とシリコン(Si)の接合事例

4インチシリコンウェーハに3インチ
ニオブ酸リチウムウェーハを接合した例

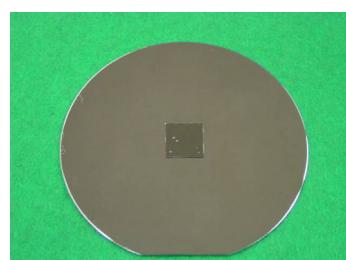


図6 窒化ガリウム(GaN)とシリ
コン(Si)の接合事例

4インチシリコンウェーハにチップ化
した窒化ガリウムを接合した例



図7 炭化シリコン(SiC)とシリ
コン(Si)の接合事例

4インチシリコンウェーハに3インチ
シリコンカーバイドを接合した例

(4) 3次元積層デバイスへの応用.

回路が形成されたウェーハに貫通配線を作成し、貫通配線同士を接合することによりウェーハを数層にわたり積層する。高集積化 MEMS、イメージセンサ、大容量メモリで応用できる。一例としてアルミ貫通配線を接合した事例を図8に示す。

このように、接合するウェーハの材料や構造により、常温接合は様々な応用が進められようとしており、特に今後は発光デバイスや電力デバイスへの適用が期待される。

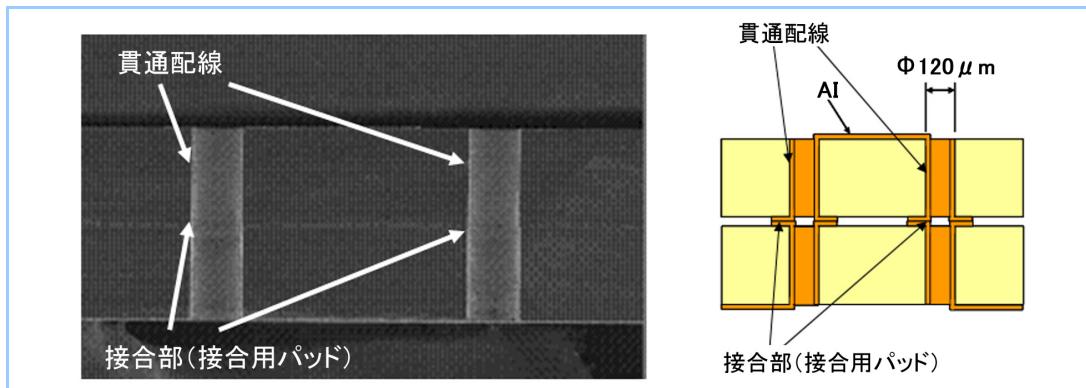


図8 アルミ貫通配線の接合事例

直径 $120 \mu\text{m}$ のアルミ貫通配線に接合用パッドを形成し、接合した例(走査型電子顕微鏡写真)

5. デバイス開発支援体制

このように、当社は各種のウェーハや生産形態に対応できる装置ラインアップを有しているが、常温接合技術をより多くのユーザーに活用していただくため、ユーザーにおけるデバイス開発を支援する三菱接合サポートプログラム(MBSP:Mitsubishi Bonding Support Program)と呼ぶ開発支援プログラムを用意している。(図9)

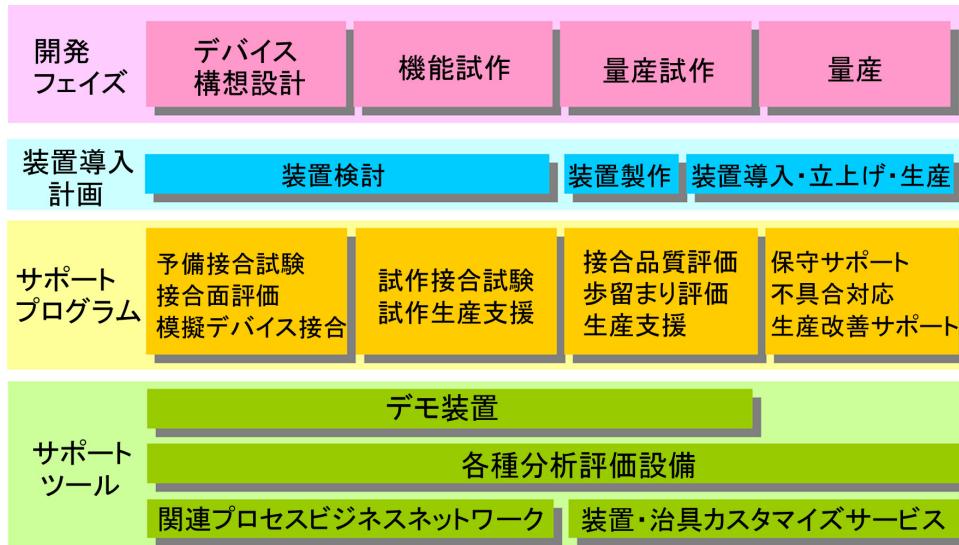


図9 三菱接合サポートプログラム

ユーザーにおけるデバイス開発フェイズは、一般的にデバイス構想設計フェイズ、機能試作フェイズ、量産試作フェイズ、量産フェイズに分類できる。当社では、それぞれのフェイズで以下に述べる支援を行っている。

- (1) デバイス構想設計フェイズ。デバイスに使用する材料の検討及び基本的な構造など基本的な構想を固めるフェイズである。当社では、ユーザーが適用する材料の接合・接合品質の評価、模擬デバイスの接合などの予備接合試験を行い、常温接合の適用可能性を明確にする。
- (2) 機能試作フェイズ。実際に機能するデバイスを試作するフェイズである。当社では、ユーザーにおける一連のプロセス中の接合プロセスを担当し、実際に試作サンプルを接合するサポートを

行っている。また、エンジニアリングサンプルとして多数の試作品が必要となる場合があるが、当社でも接合に関して試作品の製造を支援している。

- (3) 量産試作フェイズ。試作が完了したデバイスを量産化できるか、生産性や歩留まりの改善を中心にデバイス試作・検討を行うフェイズである。当社では、接合条件の最適化などで生産性・歩留まりの向上を実現している。また、本フェイズでも試作品の製造を支援している。
- (4) 量産フェイズ。ユーザで実際にデバイス量産を行うフェイズである。このフェイズでは、既に当社の接合装置が納入されており、保守支援、アフターサービス、オーバホールなどを行い、ユーザでの安定したデバイス生産や生産性の改善を支援している。

これらの支援プログラムを有効に機能させるため、当社では3台のデモ装置を準備し、連日ユーザのサンプルウェーハを接合している。同時に接合品質を評価する試験・評価設備やユーザの技術的な課題に対応するスタッフも充実している。既に3000例を超える接合実績を持っており、本プログラムは多くのユーザにおけるデバイス開発を加速している。

6. まとめ

以上述べたように常温接合は、室温で広範にわたる材料同士を直接強固に接合できる特徴ある接合技術であり、今後さらにその適用分野を拡大していくと考えられる。本論文では、幾つかの接合事例をあげ、MEMS分野、高周波デバイス分野、発光素子分野、電力デバイス分野、3次元積層デバイス分野を始め広い分野で適用が期待されることを示した。同時に適用分野の拡大には高品質な接合装置とユーザにおけるデバイス開発を支援する体制が必須である。当社は、接合品質の高い接合装置と、ユーザに対する接合サポートプログラムを中心に、より広い分野で常温接合が活用されるよう、実績を重ねていく所存である。