ダイシング手法別 CO_2 比較

Comparison of CO_2 Emissions among Dicing Processes

技術開発本部　T-Pro

要旨

半導体製造プロセスでは大量の電力、純水、プロセスガス等が使用され、その環境負荷の低減が求められている。本稿では、主要なダイシング手法についてライフサイクル全体の CO_2 排出量を算出し、ウェーハ 1 枚当たりの CO_2 排出量を比較する。また、純水リサイクルやチップサイズが CO_2 排出量に与える影響を示す。

Abstract

Semiconductor manufacturing processes consume large amounts of utilities such as electricity, ultrapure water, and process gases, making the reduction of their environmental impact increasingly important. This paper compares the life-cycle CO_2 emissions of major wafer dicing processes on a per-wafer basis. In addition, the effects of ultrapure water recycling and chip size on CO_2 emissions are evaluated.

1.　はじめに

近年、企業活動による CO_2 排出量の削減は世界的な重要課題となっており、AI やデータセンターの普及を背景に半導体製造プロセスの環境負荷にも注目が集まっている。半導体製造は大量の電力、純水、プロセスガス等を使用するため、半導体装置メーカーにも製品の環境負荷を定量的に提示することが期待されている。そこで本稿では、半導体チップのダイシング工程に使用される装置に着目し、シリコンウェーハ 1 枚当たりの CO_2 排出量を比較する。

2. 計算の対象範囲と手法

ISO 14067[1]では、ライフサイクルの各段階における GHG（温室効果ガス）排出量を CO_2 換算し、製品のカーボンフットプリントとして定量化するための原則及び要求事項が規定されている。本稿ではこれを参考に、装置のライフサイクルを「原材料」「製造」「輸送」「使用」「廃棄」の 5 段階に区分して CO_2 排出量を算出した。さらに、ダイシング手法ごとのスループットの違いを考慮するため、各段階の CO_2 排出量をウェーハ 1 枚当たりに換算し、比較指標とした。

2-1. 計算の対象プロセス

シリコンウェーハの主なダイシング手法として 4 つのプロセスの CO_2 排出量を計算した(Fig. 1)。ブレードダイシングは定温水供給装置(DTU)の使用を前提とし、ステルスダイシング ™ は改質層を形成するレーザソーと、改質層を起点に分割するダイセパレータの併用を想定した[2]。また、プラズマダイシングはマスク加工用のレーザソーと一般的なエッチング装置の組合せとした[3]。

No.	プロセス名	構成装置
①	Blade Dicing (DTU)	DFD6363+DTU1550
②	Stealth Dicing™	DFL7362+DDS2300
③	Laser Full Cut	DFL7262
④	Plasma Dicing	DFL7262+他社製Etching装置

Fig. 1 主なダイシングプロセスとその構成装置

2-2. チップ条件

各ダイシング手法を同一条件で比較するため、対象とする半導体チップのサイズ及びウェーハ厚を設定し、「使用」段階における加工条件を決定した。(Fig.2)

素材	シリコン
ウェーハ径	φ300 mm
厚み	20 μm
サイズ	10 mm×10 mm
ストリート幅	50 um

Fig. 2 チップ条件

2-3. 計算手法

「原材料」では、装置を構成する部品の材質や重量の情報を基に、適切な換算係数を選定することで CO_2 排出量を求めた。「製造」では、工場が排出する CO_2 の情報を基に各装置の CO_2 排出量を求めた（なお、一部の付帯設備や他社製装置など、原材料や製造工程に関する詳細データの取得が困難であった装置は一部項目の CO_2 排出量を計上していない。したがって、当該装置を含むプロセスの CO_2 排出量は過小評価されている可能性がある）。「輸送」では各装置の重量と平均的な輸送距離、輸送形態を基に CO_2 排出量を求めた。「使用」では、標準的な加工条件で稼働した場合のユーティリティ(電力/市水/純水/エアー/排気)使用量から CO_2 排出量を求めた。一方、装置の連続稼働に必要な主要消耗品(ダイシングブレードやレーザヘッド、ウェーハ保護膜等)に対しても装置と同じ考え方で「原材料」から「廃棄」の各段階における CO_2 排出量を計算した。また、消耗品としてプロセスガスを使用する場合はその使用流量やガス密度、温暖化係数、及び一般的な副生成物の発生率/分解率から CO_2 排出量を求めた。これら消耗品由来の CO_2 排出量は装置のライフサイクルの観点から全て装置の「使用」段階へ加算している。「廃棄」では、各装置の重量に適切な換算係数を掛けることで CO_2 排出量を求めた。各段階の CO_2 排出量は「使用」における 15 年間の総ウェーハ処理枚数で割ることで“ウェーハ単位”に換算した。なお、計算に用いた

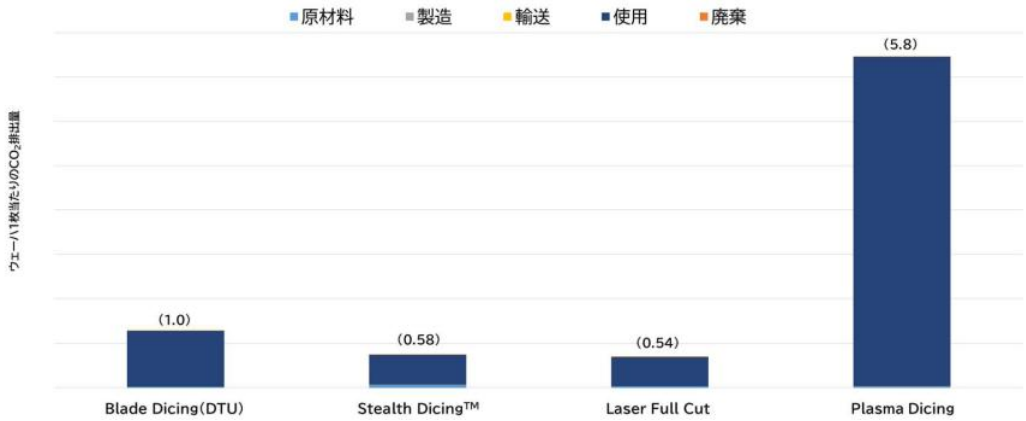


Fig. 3 ダイシング手法別の CO_2 排出量

（括弧内の数値は Blade Dicing (DTU)を 1.0 として規格化した相対値を示す）

CO_2 換算係数は AIST-IDEA[4]、東京電力グループ、東京水道局、SEMI のいずれかで規定された数値データを参照している。

3. 計算結果

3-1. ダイシング手法別 CO_2 比較

各プロセスに使用する装置のライフサイクル全体において CO_2 排出量を計算した結果、「製造」「輸送」「廃棄」を合わせた割合は全プロセスで 1%以下にとどまり、消耗品由来の CO_2 排出量を含む「使用」段階が大部分を占めることが示された (Fig. 3)。「使用」段階の CO_2 排出量は、装置稼働時のユーティリティ及び消耗品の使用量に依存する。このことから、加工装置のユーティリティや消耗品の使用量が、ライフサイクル全体の CO_2 排出量を左右することが示された。また、プロセス間の相対的な CO_2 排出量の大小に着目すると、ステルスダイシング™とレーザフルカットはブレードダイシングと比べて CO_2 排出量が小さく、それぞれ約 0.58 倍, 0.54 倍であることが示された。これは、ブレードダイシングが加工時に純水を大量に使用する手法であるのに対し、ステルスダイシング™とレーザフルカットは加工に純水を使用しないドライプロセスであることが要因である。一方、プラズマダイシングはブレードダイシングと比べて CO_2 排出量が大きく約 5.8 倍であった。これは、プラズマダイシングで使用されるエッチング装置の大きな消費電力とプロセスガスに起因している。以上の結果から、本稿で設定した条件下においては、切削水（純水）を使用しないステルスダイシング™やレーザフルカットが最もウェーハ 1 枚当たりの CO_2 排出量が小さく、プラズマダイシングが最も大きいことが示された。

3-2. 純水リサイクル装置の CO_2 削減効果

次に、ブレードダイシングにおける純水リサイクルの CO_2 削減効果を調査するため、ブレードダイサに DTU を接続した場合と、純水リサイクル装置 (DWR) を接続した場合の CO_2 排出量を比較した (Fig. 4) 。

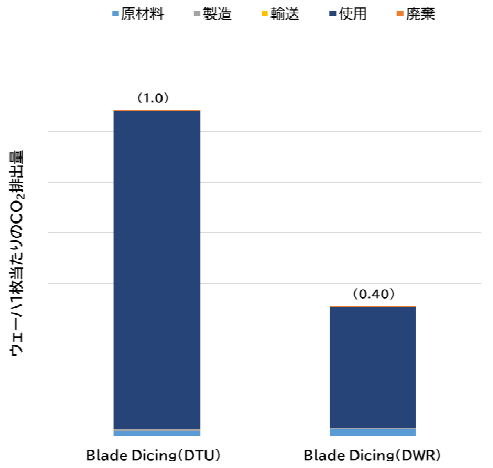


Fig. 4 ブレードダイサに DTU または DWR を接続した場合の CO_2 排出量

その結果、ブレードダイサに DWR を接続することで、ウェーハ 1 枚当たりの CO_2 排出量が約 60%削減されることが確認された。これは、Fig. 1 で示した 2 つのレーザプロセスよりも小さい CO_2 排出量である。「使用」の CO_2 排出量が大きく減少した要因として、DWR がブレードダイサの切削水を 99.5%[5]の高リサイクル率で循環できることに加え、加工装置と DWR 間を循環する切削水は温度変化が小さく、DTU よりも少ない電力で温度調整が可能である点が挙げられる。ただし、DWR は複数のブレードダイサに接続することでより効率的に運用することが可能となる。そのため、実際の運用現場では本稿で示した結果から更に低い CO_2 排出量であることが想定される。

3-3. チップサイズの影響

一般的にウェーハ厚が同じ場合、製造する半導体チップが小さいほどブレードダイサのウェーハ処理速度（wafers/h）は低下する。一方、プラズマエッチングはウェーハ全面を同時加工する面加工であることから、チップサイズが処理速度に与える影響は極めて小さい。そこで、プラズマエッチング装置の処理速度がチップサイズに依らず一定であると仮定し、チップサイズが CO_2 排出量に与える影響を調査した。Fig. 2 の条件からチップサイズのみを 3 mm×3 mm へ変更し、ブレードダイシングとプラズマダイシングプロセスにおける CO_2 排出量を計算した結果、10 mm × 10 mm チップではプラズマダイシングの CO_2 排出量はブレードダイシングの約 5.8 倍であったのに対し、3 mm × 3 mm チップでは約 1.8 倍となり、両プロセスの CO_2 排出量の差は大幅に縮小した。一方、3 mm × 3 mm の条件においても、プラズマダイシングの CO_2 排出量は依然としてブレードダイシングより大きく、DWR と接続したブレードダイシングと比較すると約 5.5 倍であった。これは、プラズマエッチング自体はチップサイズの影響をほぼ受けない面加工であるものの、その前工程であるレーザソーを用いた保護膜パターニングでは、チップサイズの縮小に伴う加工ストリート数の増加によって処理時間が長くなることに加え、プロセスガス由来の CO_2 排出量がなお大きく寄与していると考えられる。

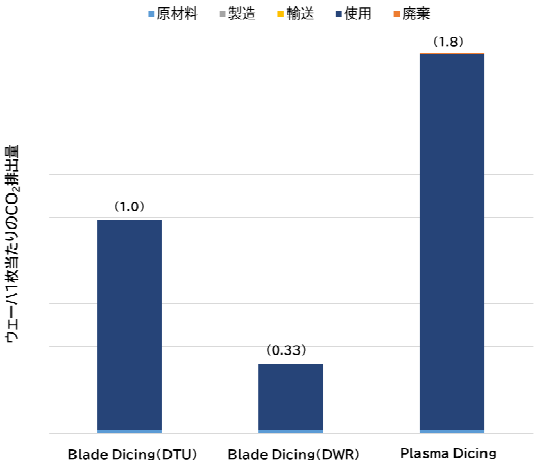


Fig. 5 チップサイズを 3 mm×3 mm としたブレードダイシング、プラズマダイシングの CO_2 排出量

4. まとめ

本稿では、ダイシング手法ごとにライフサイクル全体の CO_2 排出量を算出し、ウェーハ 1 枚当たりに換算して比較した。その結果、本稿で設定した条件下では、ブレードダイシング(DTU 接続)の CO_2 排出量は、ステルスダイシング ™ とレーザフルカットより大きく、プラズマダイシングより小さいことが示された。また、装置稼働時のユーティリティと消耗品の使用量が、ライフサイクル全体の CO_2 排出量を左右する主要な要因であることが示された。さらに、ブレードダイシングでは DWR の導入によりウェーハ 1 枚当たりの CO_2 排出量を約 60%削減できることを確認した。一方、チップサイズを 3 mm × 3 mm に縮小した場合には、プラズマダイシングとブレードダイシング(DTU 接続)の CO_2 排出量の比が約 5.8 倍から約 1.8 倍に縮小し、チップサイズに伴う各プロセスのスループット変化が比較結果に影響することが示された。

参考文献

[1] ISO 14067:2018.
[2]ディスコ HP,「ステルスダイシング™加工」
[3]ディスコ HP,「プラズマダイシング加工」
[4] AIST Solutions,「AIST-IDEA」
[5] DISCO Technical Review,「ダイサ用超小型純水リサイクル装置の有用性」