

サファイア・SiC 基板と MEMS ウェハの研削・研磨技術

Grinding and polishing technology of Sapphire, SiC, and MEMS wafer

六甲電子株式会社 技師長 滝 修

OSAMU TAKI

Rokko Electronics Co., Ltd. Chief Engineer

1. はじめに

半導体やLEDの製造では、ウェハの厚みを薄くする研削や、表面を鏡面にする研磨加工が必要である。半導体デバイスの製造は、(1)シリコン等を結晶成長から切断、研磨しウェハ状に加工する工程(ウェハ製造工程)、(2)ウェハ上にICを作成する工程(前工程)、(3)チップに切り分け・組み立て・検査・実装する工程(後工程)、が半導体製造の工程である。ウェハ製造工程では、インゴットからスライスしたウェハを両面ラップ・片面ラップ・エッチングなどで、厚みを整え加工面の歪みを除去し、最後に鏡面に加工する。また前工程で作製したパターン付きウェハの厚みを揃え薄くするバックグラインド工程が有る。バックグラインド後は、ダイシング工程でチップ化し後工程で実装される。グラインド工程、ダイシング工程は前工程と後工程の中間の工程になり、ウェハの薄化、ストレスリリース、MEMS(メムス、Micro Electro Mechanical Systems)ウェハ製造に代表される深堀エッチング、薄板化、再配線など付加価値を上げるための中間の工程である。本稿では、中間の工程のニーズであるシリコンウェハの研削・研磨・洗浄技術について紹介する。また次世代半導体として期待され、実用化が始まっているLED照明用サファイア基板、パワーデバイス用炭化ケイ素(SiC)基板の研削・研磨・洗浄技術についても紹介したい。

2. 前工程と後工程の中間の工程

加速度センサーや圧力センサーなどのMEMS技術

を利用したデバイスは、半導体製造技術を用いてウェハ上に大量に作製される。デバイス作製後に、再配線や深堀エッチングをおこなったりし、薄板化や鏡面化をおこなう。従来の半導体デバイス製造と異なりグラインド・ダイシング以外の工程が必要となり、中間の工程¹⁾と呼ばれている(図1)。中間の工程には、支持基板を貼り合せてウェハを薄板化したり、バンプを形成したりするTSV向けなどの新たな技術が含まれている。従来と異なる工程が必要で、研削(薄板化)・研磨(ポリッシュ)・洗浄(清浄化)を一貫で処理する工程が必要とされている。



図1 半導体デバイス製造工程

3. ラッピング・バックグラインド・ポリッシュ

ウェハ製造工程のウェハ加工は円形のセラミックブロックにワックスでウェハを固定し、ラップ定盤と呼ばれ

る円形の定盤の上に研磨剤を流し、定盤とウェハを面で摺り合わせて、厚み・平行度・面粗さ調整する加工方法でラッピング法²⁾と呼ばれる。一般的なラッピング仕上げのウェハは、加工ダメージ層が10～15 μm 程度である。そのため、シリコンウェハの場合はエッチング処理で加工ダメージを除去してからポリッシュする方法が一般的である。

前工程の最終、あるいは後工程の初めのバックグラインド工程は、ダイヤモンドホイール(砥石)でウェハを加工し、主にデバイス付きウェハの薄化に使用されている。加工ダメージ層は1 μm 以下で、エッチング処理なしで直接ポリッシュすることで加工ダメージの除去が可能である。一般にはラッピング加工はラップ研磨と呼ばれ、バックグラインドは裏面研削あるいはBG、鏡面研磨加工はポリッシュ加工あるいはミラー加工と呼ばれている。

シリコンウェハの鏡面加工は化学的作用と機械的作用による研磨技術で、CMP (Chemical-Mechanical Polishing)と表現する。前工程のデバイス化途中の多層化配線用の層間絶縁膜・金属膜の平坦化加工の化学機械平坦化 (Chemical-Mechanical Planarization) もCMPと表現される。いずれも略語はCMPで、誤解されることが多いが、加工目的、研磨装置、研磨剤・パッドの種類なども異なっている。

4. MEMSウェハの研削・研磨・洗浄の一貫加工

MEMSは、半導体製造技術を用いて作られ、成膜、パターン形成、エッチングなどの技術を利用し、微細な電気要素と機械要素を一つの基板上に組み込んだ部品である。各種センサーに用いられるウェハは、デバイス作製後、裏面を研削し薄厚化する。回路が形成されたウェハは回路面を保護テープで保護し研削する。また、センサー用ウェハは裏面にシリコン・ガラスなどを接合するため、裏面をミラー面に仕上げ接合面を平滑にする必要が有る。通常のスレスリリーフといったエッチングや乾式ポリッシュなどの加工面ではなく、ミラー面が要求される。ウェハ製造工程や前工程に裏面加工済みウェハを投入することは汚れ・汚染などの問題があり困難である。MEMSウェハの薄化・ポリッシュ加工は中間の工程で一貫処理できることが望まれている。多

様なMEMSの特殊研削・研磨の試作加工を1枚より対応し、SOI・ガラス/Si貼り合せウェハや穴開き・キャビティー構造・貫通電極・非円形などのウェハを研削・研磨・洗浄を一貫加工することが望ましい(表1)。

シリコンウェハの仕上げ洗浄は、RCA洗浄が使用されている。SC-1洗浄液でパーティクルを除去し、SC-2洗浄液で金属不純物を除去している。Siウェハ表面の洗浄は、パーティクルの除去、アルカリ金属・重金属の除去、有機物・自然酸化膜の除去が必要である。RCA洗浄は工程も多く、大量の純水、薬液が必要になる。工程数の削減や簡略化、枚葉式洗浄に使用出来る新RCA洗浄液としてFrontier Cleanerシリーズ³⁾などの使用が検討されている。従来の2液使用から、1液でSiウェハの洗浄が完了する新RCA洗浄液である。コスト低減、工程数の削減に従来バッチ式では処理出来なかったウェハを枚葉で洗浄する方法に使用できる。片面のみを洗浄することが可能となり薄型ウェハやMEMSウェハ、デバイス付きウェハの洗浄に適している。

表1 研削・研磨・洗浄の一貫加工対応

	研削 (グラインド)	研磨 (ポリッシュ)	洗浄 (RCA)
A社	○	×	×
B社	×	○	○
C社	○	○	×
当社	◎	◎	◎

5. サファイア基板・SiC基板の加工最新動向

5.1 社会的ニーズ

パワー半導体メーカーや、センサー半導体メーカーからは、新素材のSiC基板を使用したデバイスを開発するため、従来の基板材料であるシリコンウェハ並みの高精度化・高品位化がSiC基板に求められている。また、現在は基板の供給問題から、小口径のウェハで開

発をおこなっているが、量産対応、低コスト化のためには大口径ウェハ(φ6、φ8インチ)の利用が必要となっている。

サファイア基板メーカー、デバイスメーカーからは、サファイアウェハの低コスト、高品位化の要求がある。LED用サファイア基板ではコストダウンのためφ6インチ以上の大口径ウェハでチップを製造すると考えられるが、従来より加工精度[厚み精度:GBIR(全体的平坦度)、SBIR(局所的平坦度)、表面粗さ:Ra、反り量]等を向上させ、歩留まりの向上を図る必要がある。また、表面弾性波SAWデバイスなどに使用されるサファイアR面ウェハの加工も同様の要求がある。

社会的ニーズに対応して産業界においても電気自動車の開発・実用化、家電製品や産業機器等の省エネ技術、スマートグリッド網技術等の開発が進められている。自動車では大幅な低燃費・低炭素化を目指してハイブリッド車(HEV)やプラグインハイブリッド車(PHEV)、電気自動車(EV)が開発され、国内ではHEVが販売台数の上位を占めるようになってるとともに、電気自動車(EV)も小型商用車が市販され始めた。このような低炭素車は2次電池とモーターがキーパーツとなっており、より電力損失が少ないSiCを基板とした次世代型のパワー半導体の開発を大手メーカーが先頭に立って進めている。

太陽光発電などの再生可能エネルギーを効率的にスマートグリッド網に取り込むためには直流を交流に高効率で変換できるパワーコンディショナーが必要となる。その鍵を握るのがSiに代わりSiCを使った次世代型パワー半導体であり、電機メーカー大手各社がその実用化を競っている。また、産業機器分野では省エネ化する上でインバータが大きな役割を担っており、既に次世代型パワー半導体が採用され始めている。

5.2 技術動向

SiCやサファイアといった新材料は製造が難しくかつ高硬度・高脆性のため加工も困難である。そのため材料コスト・加工コストが高くなるといった難点があった。LED照明については、導入期を過ぎ成長期にあり、市場競争も激化、生産性を上げて低コスト化を図ることが最終メーカーの命題となっている。特に低価格を武器にする海外新興国との競争が熾烈化しており、低価

格化を進め競争優位を築くことが課題となっている。一方、次世代型パワー半導体については、導入期にあるといえる。この段階では、市場価格に近い価格を実現して、今後の普及促進を進めることが重要となってくる。ここ1~2年で材料製造技術が進み、6インチ口径のウェハを発売する報道もあり、従来の3、4インチ口径、より大口径のウェハを利用できる環境が整ってきている。このような技術動向を受けて、最終メーカーは、1枚のウェハからより多くのチップを製造できる大口径ウェハを利用すること以外に、ウェハの加工面精度を高めてエピタキシャル膜成形に適したエピレディー面に仕上げることで積層膜の形成不良を減らし、面平坦度(GBIR、SBIR)を上げてフォトリソプロセスでの不良率を下げるといった歩留まり向上策や、短納期化して在庫の最適化をはかる等、生産性を高めるためにいろいろな取組を進めて、製造単価を下げることに目が向いている。

5.3 遊離砥粒から固定砥粒へ

現在、SiCやサファイア等の高硬度材料に対する平坦化・薄化はラッピング研磨方法で加工している。遊離砥粒を流しながら研磨していくために砥粒の大きさを調整することで高硬度材でも平滑に仕上げるができるが、加工効率が悪い難点がある。スライス後ウェハの加工ダメージ除去、ウェハの平行度・厚み調整のための遊離砥粒ラッピング法が標準の加工方法である。バッチ方式で一度に大量のウェハが加工できるため、大量生産に向いている。また両面同時に加工することもでき、平行度が良好なウェハが得られる。加工に使用する研磨剤は、主にダイヤモンド砥粒が使用され、砥粒と水等を混合した液が使われラップスラリーと呼ばれる。ウェハの加工と同時に定盤自体も摩耗するため定期的に定盤平坦度の修正作業⁴⁾が必要となり、良好な加工精度を維持するためには定盤の管理に熟練が必要になる。

現在主流のラップ研磨は加工精度管理、大量のスラリー廃棄物、加工時間の短縮などの問題があり、ウェハの大口径化対応及び加工の自動化対応に適さない方法である。このため遊離砥粒の加工から固定砥粒のダイヤモンドホイールで加工する研削を取り入れ、加工効率を上げる取組が行われている(表2)。一部ラッピン

グ加工前の粗加工にバッチ式で研削できる専用の研削装置が実用化されている。固定砥粒の加工は、高速の加工、精度の向上、クリーンな作業環境の維持、大口径ウェハの枚葉式自動加工を実現できる方法である。このことにより我が国が強みを持つパワー半導体・LED用サファイア基板加工のコスト競争力の向上に大きく貢献できる。サファイア・SiC等の高硬度材料加工のプロセスイノベーションを実現してコスト削減を目指していく必要がある。

表2 遊離砥粒加工と固定砥粒加工

	長 所	短 所
遊離砥粒加工 (ラップ)	バッチ処理で生産性高い 良好な加工面が得られる(面粗さ、低加工ダメージ)	作業環境が汚くなる 自動化が困難 定盤精度維持に熟練必要 加工速度が遅い スラリー廃棄物が大量に発生
固定砥粒加工 (グラインド)	自動化が容易 加工速度が速い ウェハ1枚から加工できる 作業環境がきれい ロット内厚みバラツキ小さい	面粗さ、加工ダメージの低減が困難 ウェハの口径により、砥粒仕様、加工条件出しが必要 装置、砥石開発中

5.4 ダイヤモンドホイールでの加工

現在研削装置メーカー、砥石メーカーが、ラップ・ダイヤモンドラップ加工を固定砥粒加工に置き換えるため、装置の開発、砥石の開発を行っている。ラップ加工は、定盤とワークの間に研磨剤を流し込みながら加工するため、粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の超微粒ダイヤモンド砥粒を使用しても加工可能である。ダイヤモンドで加工面粗さ $Ra:1\text{nm}$ 程度のミラー面を得られる。固定砥粒の場合は超微細砥粒を均一に砥石の表面に出したりすることが難しい。そのため高硬度材料の研削では、加工できずに砥石が表面を滑ったり、砥粒の脱落が多く磨耗が多くなったりなどの問題がある。特にサファイアウェハの微細砥粒領域(砥粒径 $5\mu\text{m}$ 以下)での加工が困難であり、ダイ

ヤポリッシュ並みの加工面を得ることが困難である。砥石の開発と、砥石にマッチングした研削装置を使用した固定砥粒加工で $Ra:1\text{nm}$ 以下を早急実現することが望まれている。ダイヤモンドホイールを使用した研削加工(図2)は、高速加工、高精度加工、加工自動化を実現できる。低価格を武器とする海外新興国のラップ加工では実現できない高品位ウェハを1枚から大量生産に対応する自動グラインド研削加工を実現することで国内ビジネスを拡大することが可能である。

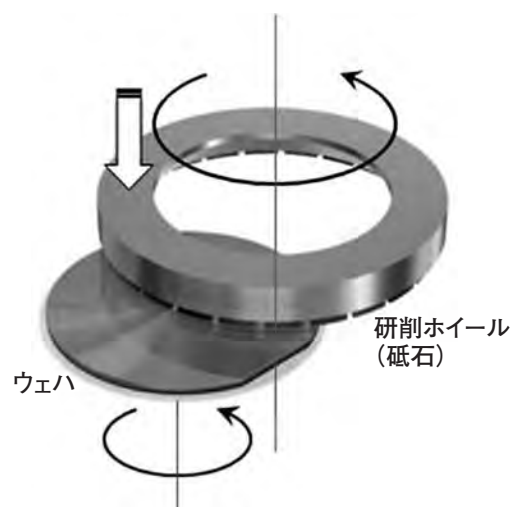


図2 インフィード研削
自転するウェハに対して回転した砥石を上から下降させ、指定した厚みになるまで連続して研削する方法。

6. サファイア基板のC面・R面

6.1 サファイアC面ウェハ

サファイアウェハにはC面ウェハ・R面ウェハなどがあり、それぞれ用途が異なる。サファイアC面はLEDに使われる青色LED(青色発光ダイオード)の材料であるGaN(窒化ガリウム)を成長させる基板として利用されている。LEDは長寿命、高信頼性である。しかしコスト面においては現状の電球・電灯において5~20倍の差があり、まだまだ大幅な普及には遠い現状であるが、今後は現状のサファイアC面4インチから6インチウェハが主流になるように、各サファイア基板メーカーが急ピッチで開発中である。

6.2 サファイアR面ウェハ

サファイアR面ウェハは、スマートフォン、タブレット向けの従来の化合物SAWデバイスに代わり、高周波特

性を向上できるデバイス用の基板である。またSOS(サファイア・オン・シリコン)デバイスも注目されている。R面サファイア基板の普及により、SAWデバイスが商品開発され製品化途上にある。今後もスマートフォンやタブレット系のPCが普及し無線LANやWi-Fiなどの普及は拡大する一方にあり、さらなる量産が見込まれる。

7. SiC 基板のSi面・C面

SiC ウェハが利用されるパワー半導体とは、直流を交流、交流を直流、周波数変換、昇圧・降圧などに使われ、効率よく電力変換する省エネルギーを担う仕事を行うデバイスである。

SiC は従来のSi パワーデバイスに比べ高温動作、耐環境動作、小型軽量化、高性能高効率化に優れ、シリコン基板パワーデバイスの限界を超える領域での性能が期待されている。

SiC ウェハの表面と裏面では、結晶面が異なりSi面とC面がある。一般的にパワーデバイスはSi面にデバイスが作られる。固定砥粒の研削加工では、Si面・C面で加工効率などは変化しない。しかしポリッシュ(CMP)加工ではSi面・C面で加工時間が大きく異なることが知られている。シリコンウェハのCMPは1 μ m/min程度の加工が可能であるが、SiC ウェハの場合、CMP加工は非常に遅くシリコンウェハの1/200~1/1000の加工量である。ウェハの大口径化で加工面積・体積が増加し、CMP工程に必要な時間の増加が予想される。最近では、1.5~10 μ m/h程度加工できるスラリーも開発されており、固定砥粒の加工面から直接CMPで仕上げが可能になると考えられ、ラップ・ダイヤポリッシュ工程の削減・短縮が期待される。

8. SiC 基板・サファイア基板の洗浄

CMP後の洗浄は現在Siウェハの洗浄に使用されているRCA洗浄技術でおこなわれることが多いが、今後デバイス微細化の進歩と共に改善が必要である。前記した新RCA洗浄液など、枚葉式洗浄装置に使用できる洗浄液であれば、洗浄条件などの評価のコストもバッチ式に比較して低減できる。パーティクル、金属汚染レベルの向上もサファイア・SiC ウェハの大口径、デバイス

の微細化により要求される。透明基板のSiC・サファイアなどは表面検査装置も専用となりまた、検出できるパーティクルのサイズも0.3 μ m以下の検出が困難である。洗浄技術の向上と評価技術の向上も必要である。

9. おわりに

シリコンウェハを使用したデバイスから、次世代の半導体デバイスで有るワイドギャップ半導体を使用したデバイスの実現がLEDデバイスで始まった。同じ半導体製造の技術を利用したサファイア基板やSiC基板の加工技術の開発がおこなわれている。半導体製造工程でもウェハの研磨、研削などの部分は普段あまり注目されることが無い工程で有る。パッケージの小型化・薄型化にともなうデバイスウェハの薄板化、MEMSウェハなどの深堀エッチング、再配線などの要求があり、バックグラインド工程、ストレスリリーフ加工、ポリッシュ加工などの中間の工程が注目されることになった。シリコンデバイスの高機能化・多機能化により製造工程が複雑となり、ウェハ形状で加工できる最後の中間の工程で、より付加価値の高いデバイス作りに対応ができるかという課題がある。加工メーカーでは、1枚の試作から少量・多品種製品製造の生産効率化をおこなう必要がある。サファイア基板やSiC基板などを使用したデバイスも、シリコンデバイスと同様に高機能化、微細化が進むと考えられる。ウェハの研削(薄化)から研磨(ポリッシュ)、そして仕上げ洗浄を一貫で加工する技術が、製品の高付加価値を推進するキーポイントである。

参考文献

- 1) 萩本英二. はじめての半導体後工程プロセス. 東京電機大学出版局, 2011, 68-79.
- 2) 竹脇敏男. 半導体シリコンビジネスのすべて. 工業調査会, 1994, 163-182.
- 3) 宮崎正男. THE CHEMICAL TIMES. 2005, (198), 6-10
- 4) UCS半導体基盤技術研究会編. シリコンの科学. 株式会社リアライズ, 1996, 274-276.