

日本ガイシにおけるセラミックス加工の取組み

Development of Precision Machining for Ceramic Materials in NGK INSULATORS,LTD.

日本ガイシ株式会社 辻 裕之
NGK INSULATORS,LTD. Hiroyuki Tsuji

1. はじめに

セラミックス材料は構造材料や機能材料として金属材料や有機材料にない特性を活かして産業界で活用されている。特に原料と製造プロセスを科学的に制御したファインセラミックスは高度な特性を有することから広い分野で部材、デバイスに活用されている。また、先端分野に使われることも多く、セラミックス加工、計測技術も最先端の技術を要求される。ここでは、精密工学会賞を戴いたことに際して、長年、取組んできたセラミックスの製品開発および製造プロセス開発に関係する精密加工技術の取組みについて紹介をする。

2. セラミックス材料の特性

セラミックス材料は、酸化物系、窒化物系、炭化物系等に分類される。各材料系において組成の改良や粒子・粒界の制御によって以下のような特性を向上させている。

- ① 電気絶縁/耐蝕性
- ② 耐熱/熱衝撃性
- ③ 断熱/熱伝導/放熱性
- ④ 誘電/強誘電性
- ⑤ イオン電導性

これに加えて、多孔質、緻密質、単結晶、さらには配向制御材料と区別することもできる。日本ガイシでの具体的な製品として、①電力用ガイシ、②自動車排ガス浄化用触媒単体、各種フィルター、③半導体製造装置用ヒーター/静電チャック、絶縁放熱基板、④圧電マイクロアクチュエーター、GaN基板、⑤排ガス用センサー、蓄電池などである。

加工技術としての課題は、加工変質層やマイクロクラックによる材料強度と機能の低下防止であり、さらに加工装置・工具・加工液による材料へのコンタミと反応の防止である。材料の分析・解析に踏み込んだ加工技術の開発や改良を行っている。

3. セラミックス材料および製品開発と加工技術の取組み

セラミックスの製品開発には多くの時間を要する。その一因として、材料開発から始まり製品設計とプロセス開発において、実際の「ものづくり」と摺り合わせながら実現性を高めていくからと考える。さらに量産に移行するにはバッチアップまたは連続化の課題解決も必要となる。

加工技術も開発の早い段階から製品開発に携わり、将来を見越した加工技術開発を要求される。また、適用分野によって必要となる加工プロセスも様々であり、最先端の加工技術も要求される。一方で、材料系が異なっても技術の蓄積や応用展開は可能であり、セラミックス加工の進歩に繋がった考える。

4. 製造プロセスにおける加工技術の役割

セラミックス材料は無機材料の固体からなる多結晶体であり、その製造プロセスの概要を図1に示す。特徴的であるのは、成形体に対し

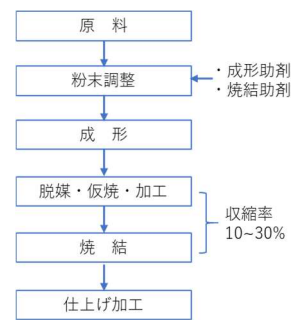


図1. セラミックス製造プロセス

て焼成後の収縮率は10~30%の大きさであり、それは成形体と焼結体の密度比によって決まる。成形体の形状はトータルの焼成収縮量等を見込んで金型等の設計を行う。また、セラミックスは硬く脆いため難加工性のもも多く、成形精度を向上させて仕上げ加工を最小限にする技術開発を行ってきた。

工程順に加工技術の役割について説明する。

粉末調整とは原料の粉碎・解砕・造粒・分級・仮焼等を行うことで、セラミックスの特性を向上させる上で重要な工程であり、同時に成形性や焼結性に対しても重要な因子である。また、加工性に対しても変化を与えることもあり、特に工程変更や量産移行のバッチアップ時には加工状態の観察を必要とする。

代表的な成形法としては、粉体プレス、混練押出、鑄込み、テープ成形等である。成形金型を使用する場合、焼成収縮および形状による部分変形も加味した形状決定と成形均一性を考慮した金型設計を行う。また、セラミック粒子は硬いために金型はじめ治具類には耐摩耗性を要求される。形状変化だけでなく僅かな異物混入によっても特性は低下することもあり、コーティングを含めて金型材質の選定は重要である。

仕上げ加工の工数削減のためと成形では形状の付与をできない箇所に焼成前加工を実施することもある。前提として、焼結前のセラミックスは水分等と反応するために乾式加工を用いる。さらに工具および加工機械等からのコンタミを防止することも必須である。

セラミックス製品の仕上げ加工はダイヤモンドホイールによる研削加工、ダイヤモンドラッピング、レーザー加工等を使用する。その理由は材料の硬さであるが、セラミックスの加工性は結晶構造によっても異なる。加工面性状や研削抵抗を参考に加工条件の設定を行うが、工作機械の剛性アップと送り精度の安定化は、セラミックスの加工精度と加工能率の向上に効果的であると考えられる。また、硬いセラミック粒子による工作機械に対するダメージ低減も課題であったが、機械構造の選択によっては汎用機であっても工夫をすれば摺動部やスピンドルの劣化は抑えられている。現在では自動化推進も重視した装置選定を行っている。

5. セラミックスの製品設計と加工技術

セラミックス製品は材料の特徴に加えて成形法と焼成法を加味して設計され、そこには最新の加工技術を多く取り入れている。また、装置組込み用部品として用途に合わせた各種加工も行われている。精密加工を必要とするセラミックス製品の二例を紹介する。

5-1. 自動車排ガス浄化用触媒単体「ハニセラム」

1970年代に排ガス規制は強化され、排ガス浄化用触媒単体として開発された「ハニセラム」はコージュライトセラミックス ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) の耐熱性と熱衝撃性を利用している。成形工程によって形状は付与され、最終加工は外周と端面のみである。セル形状は混練押出成形機に装着した押出ダイス（以下、口金と呼ぶ）により形成され、排ガスの浄化効率を



図2. 排ガス用触媒単体ハニセラム

向上させるためにセル構造は微細化して壁厚は 2mil (thou) まで可能である。また、HV, PHV の普及が進む中でエンジン起動時の排ガス浄化性能を向上させるために、セル薄壁化や六角等の異形状セルに対するニーズは拡大している。セル形状・壁厚や外形サイズの違いにより口金の製作方法は複数あり様々な工作機械を使用する。

口金は最高品質を追求して国内で一貫生産されて、同一品質のものを世界各地の工場に供給している。最新の工作機械を導入して技術開発と生産を続けてきて、日本のものづくりの強みを発揮できていると考える。

5-2. 半導体製造装置用ヒーターおよび静電チャック

セラミックヒーターはCVD装置に使用されるために、耐蝕・耐熱・熱伝導性に優れ、Si と熱膨張率の近い窒化アルミニウムを用いる。静電チャックはエッチング装置に使用されて材料は主にアルミナである。両製品とも成形時に電極を埋設するので、電極の酸化を防止する



図3. セラミックヒーター(左)と静電チャック

ための雰囲気下で脱媒と焼成を行う。その後シリコンウエハーを装着する機械部品としての仕上げ工程となり、焼成時の変形と電

極位置を考慮して、主にマシニングセンターでダイヤモンドホイールを用いて研削加工を実施する。ATCおよびAPCを用いた自動化推進も実施されていて、高効率加工はさらに進展すると考えている。

6. 複合ウエハーにおける加工技術

各種の単結晶材料では表面粗さサブナノメートル、平面度ナノメートルレベルの仕上げ加工を達成している。合わせて、超高真空中で

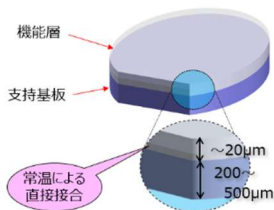


図4. 複合ウエハー

FAB (Fast Atom Beam) を照射して表面を活性化することにより常温での直接接合（表面活性化接合）を可能としている。これらの技術により単一材料では実現できない性能や機能を持った複合ウエハーを開発した。代表例として温度特性を改善した SAW フィルター用複合

ウエハーで、温度変化による周波数帯域のズレを防止でき、高速大容量通信では不可欠となっている。支持基板は Si であり、機能層（表面弾性波層）は LiTaO_3 で除去加工により数十ナノメートルの精度で無欠陥に仕上げ加工を行う。現在、独自の FAB ガンを用いて、4～6 inch ウエハー基板での量産化に成功している。

他の単結晶基板でも表面活性化接合は量産レベルで可能なことを確認している。さらに、図5に示すように多結晶の高純度アルミナで

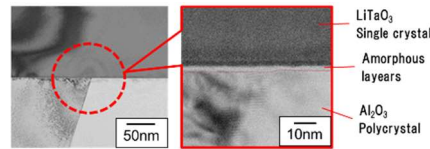


図5. 直接接合（単結晶と多結晶）

粒子間段差を1ナノメートル程度に加工することで単結晶材料 LiTaO_3 との表面活性化接合を可

能とした。接合できる材料系の拡大により、多様な機能を持った複合ウエハーを開発することで用途は拡大すると考えている。

7. まとめ

セラミックスは硬くて脆いため難加工性であり、加工工程はコストアップの要因となってきた。そのためセラミックスの特徴を活かせる設計がなされ、材料技術と成形技術の開発によってニアネットシェイプ技術を確立している。その製造プロセスに精密加工技術を多く活用してセラミックスでしかできない形状も可能としている。また、装置用部材として使用される場合でも加工量は最小限に抑えられ高能率化は進んでいる。さらに精度面でも複合ウエハー用途でナノメートルレベルの平坦加工も実現可能となった。

このように最新の加工技術を導入および応用できた背景として、日本の工作機械および周辺技術の進歩によることも大きい。さらに、学会を中心とする産官学の連携および業種を超えた交流も行われ、セラミックスに関する加工技術についても色々な場で交流できたことを感謝している。

荣誉ある精密工学会賞を戴き、ご指導ご助言を戴いた方々や共に仕事をさせて戴いた方々に厚く御礼申し上げます。今後ともセラミックス技術と精密加工技術の融合領域を拡大して精密工学の発展に寄与していきたいと考えております。

参考文献

- 1) K.Watanabe, T.Takahashi, T.Nagae, H.Tsujii: Forming and Surface Finishing Technology Translucent Polycrystalline Alumina(TL-PCA) ICC6 in Dresden 2016
- 2) K.Watanabe, T.Takahashi, T.Nagae, H.Tsujii: Precision Forming and Machining Technologies for Ceramics based Components. ICPE2016 in Hamamatsu 2016
- 3) 渡邊敬一郎、高橋知典、辻裕之：日本ガイシに於ける構造用セラミックスの取組みについて、日本材料学会東海支部第11回学術講演会(2017)

開発した。代表例として温度特性を改善した SAW フィルター用複合