

超微細砥粒の電気泳動現象を利用した研削切断法の開発

Development of Dicing Technology Applying Electrophoretic Deposition of Ultrafine Abrasives

池 野 順 一*・谷 泰 弘**・福 谷 亮 人*

Junichi IKENO, Yasuhiro TANI and Akihito FUKUTANI

1. は じ め に

光学部品や電子部品等に用いられる硬脆材料は、切断時にチッピングが発生しやすい材料である。チッピングは歩留りや加工面品質の低下につながるため、切断加工工程では、チッピング量が最小となるよう最適加工条件の選定が行われている。しかし、チッピングフリーの状態を実現するには至っていないのが現状である。

一般に、微粒砥石を使用する方法は砥粒切込み深さを小さくでき、最も容易にチッピング量を減少させることができる。しかし、この方法は2つの問題を有している。1つは $1\mu\text{m}$ 以下の微粒に対しては均一で強度の高い砥石を製造することが困難であること、もう1つは微粒砥石では目づまり、目こぼれが発生しやすく加工性能を維持できないことである¹⁾。したがって、より微細な砥粒の使用が望まれながらも、現在一般に使用されている砥粒は $1\mu\text{m}$ 以上の砥粒径のものに限られている。

一方、半導体結晶材料等の最終研磨に使用されるコロイダルシリカは、1次粒径 $10\sim 20\text{nm}$ の超微細シリカ砥粒(SiO_2)を含み、最も小さな加工単位を実現している。しかも、ある特定の加工物に対しては化学的な研磨を行い、加工変質のない加工面が得られることが知られている。

この砥粒はアルカリ液中で負に帯電する特性を有している。図1はアルカリ液中に一对の電極を設けたときの砥粒の挙動を示す概念図である。このように電場が作用すれば、負に帯電している砥粒は陽極に向けて泳動する現象を引き起こす²⁾。これを電気泳動現象という³⁾。さらに、この砥粒は電極表面で電氣的に吸着現象を引き起こし、凝集層を形成する⁴⁾。これら一連の現象では、電氣的作用によって一粒ごとに砥粒が電極表面に引き寄せられ凝集するため、凝集層の組織は比較的整然としたものになると期待される。さらに、電場が作用している限り、電極表面には連続して凝集層が形成されることが予想さ

れることから、たとえ外力により凝集層が減少したとしても、その減少分だけ砥粒を吸着させ、層の厚みを一定に保つことが可能と思われる。したがって切断用ブレードを陽極として、加工液にコロイダルシリカを用いれば、超微細砥粒は電気泳動現象により、均一な組織からなる超微細砥石をブレード表面に形成することができる。しかも、この超微粒砥石は個々の砥粒が電氣的に保持されているため加工時には適度に脱落し、目づまりを防止することができる。さらに、加工時の脱粒によって凝集層が減少した分は、電気泳動現象によって随時砥粒を電極に吸着させることで補給できるため、砥石形状および目こぼれによる加工性能の低下が防止できるものと考えられる。

以上のように超微細砥粒の電気泳動現象を利用することで、研削切断に超微粒砥石の使用が可能になると思われる。筆者らは、この新しい加工法をEPD(Electrophoretic deposition) グライシングと名付けた。

以下、本加工法の加工特性、加工メカニズムについて検討を行ったので報告する。

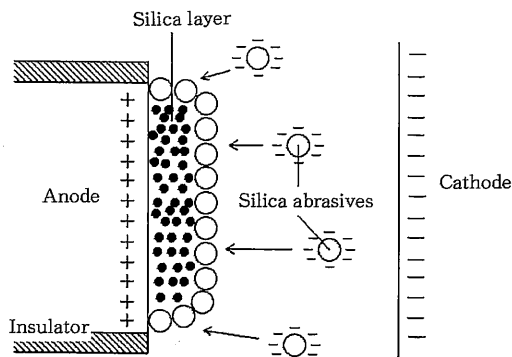


Fig. 1 Electrophoretic deposition of ultrafine abrasives

*東京大学生産技術研究所 第2部

**東京大学生産技術研究所 付属先端素材開発研究センター

研究速報

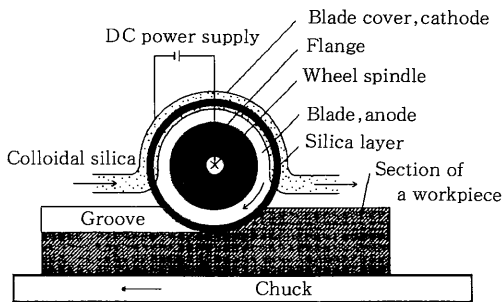


Fig. 2 Experimental apparatus of dicing applying electrophoretic deposition

2. EPDダイシングの加工特性

EPDダイシング装置の概略を図2に示す。このダイシング装置の主軸には、高速エアスピンドルを用い、導電性のブレードを陽極として、ブレードの周りに陰極のカバーを取り付けてある。超微細シリカ砥粒を含む加工液は、カバーの内側に設けられたU字型の溝の中をブレードに沿って流れる。これにより、ブレードの先端は常に加工液に浸漬され、先端部に安定して砥粒の電気泳動現象が発生するよう配慮した。

まず、電極に吸着したシリカ層の研削性能を確認するため、まったく加工能力を持たない青銅製の円盤(径70mm、厚さ0.1mm)をブレードとして用いた。これに電気泳動現象でシリカ砥粒を吸着させ、表1に示す実験条件でシリコンウエハの溝切り加工を試みた。図3に実験結果を示す。これより負荷電圧を30Vにしてシリカを電気泳動させた実験では、まったくチップングのない溝が形成されることが判明した。これに対し、負荷電圧0Vでシリカを電気泳動させずに行った場合、まったく加工が行われず、ブレードが破壊してしまった。したがって、電気泳動現象で吸着したシリカ層はシリコンに対して、研削性能を有していることがわかった。

次に、ソーダガラスの溝切り加工を試みた。ソーダガラスはシリコンに比べて被削性の劣る材料である。シリコンと同様の条件で加工を試みたところ、ブレードが破損してしまった。そこで、シリカ層への負荷を軽減し、加工能率を向上させるために、ブレードには導電性のメタルボンドダイヤモンドブレードを採用することにした。表2に示す実験条件により行ったEPDダイシングの結果を図4に示す。これは切断溝を試料上面から見た図である。負荷電圧が0Vのときチップングが発生しているのに対し、負荷電圧60VのEPDダイシングでは、チップング量がきわめて少なくなっていることがわかった。

Table 1 Dicing conditions

Blade: Bronze blade without abrasives
D70mm H40mm t0.1mm
Depth of cut: 0.1mm, Feed rate: 2.5mm/min
Spindle revolution: 3000rpm
Cutting fluid: Colloidal silica 30wt%, 7ℓ/min
Applied voltage: 30V
Workpiece: Silicon wafer (110)



0.1mm

Fig. 3 Top view of a groove on a silicon wafer by dicing with a metal blade applying electrophoretic deposition.

チップング量と負荷電圧の関係を整理したものを図5に示す。これより、負荷電圧が高くなるにつれてチップング量が減少していることがわかった。すなわち、負荷電圧の上昇に伴って砥粒の吸着速度が増し、溝部に対する砥粒の研磨作用が促進されたものと思われる。

次に、光導波路に使用されるニオブ酸リチウムの切断実験を行った。光導波路の加工では、チップングのないことや、切断面の粗さが数十nmであることが要求される。実験条件を表3に示す。また加工後の切断溝の状態を図6に示す。この図より、ニオブ酸リチウムにおいてもEPDダイシングで、チップングの発生を抑制できることがわかった。また負荷電圧0Vのとき、切断面の粗さは0.4μmR_{max}であったのに対し、負荷電圧30Vでは30~50nmR_{max}の鏡面に仕上がった。以上により、これらの光学材料の切断に対し、本加工法の有効性が実証された。

EPDダイシングの適用範囲を調べるために、磁性材料である多結晶Mn-Znフェライトについても加工実験を試みた。実験条件を表4に示す。また、切断溝の状態を図7に示す。これより、負荷電圧60VでEPDダイシングを行った場合、フェライトの切断に対してもチップングを抑制できることが確認できた。さらに負荷電圧0Vのとき、切断面の粗さは3μmR_{max}であったのに対し、負荷電圧60Vでは結晶粒界が判別できる程度に研磨作用を受けており、表面粗さは0.1μmR_{max}となった。これより、磁性材料に対しても本加工法が有効であることがわかった。

3. EPDダイシングの加工メカニズム

これまでの切断実験より、EPDダイシングがチップン

Table 2 Dicing conditions

Blade: SD500N75M (D70mm H40mm t0.1mm)
Depth of cut: 0.5mm, Feed rate: 5mm/min
Spindle revolution: 3000rpm
Cutting fluid: Colloidal silica 30wt%, 7ℓ/min
Applied voltage: 0V, 60V
Workpiece: Lime glass

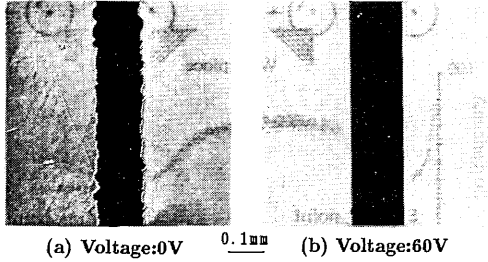


Fig. 4 Top view of grooves formed on lime glass by dicing with a diamond blade applying electrophoretic deposition

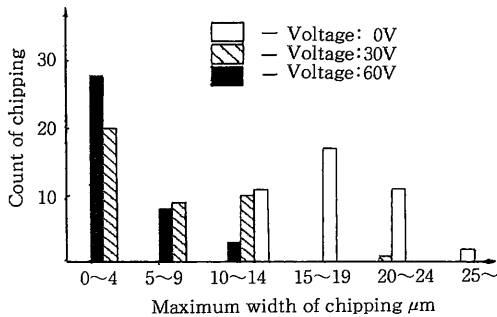


Fig. 5 Effect of electrophoretic deposition on the amount of chipping in dicing lime glass

グを減少させるのに有効な加工法であることがわかった。ただし、本論ではシリコン以外の材料に対しては、ダイヤモンドブレードを用いている。そこで、加工メカニズムを把握するためにブレードに含まれるダイヤモンド砥粒とブレードに吸着したシリカ砥粒の役割を明確にすることを試みた。

そこで、切断時の電流値の変化を測定することにより、おのおのの砥粒の役割について検討を行った。

一般に、シリカが陽極に吸着層を形成する場合、電極表面の電気抵抗が増し、電流値は低下する。したがって、切断時の電流値の変化を測定すれば、シリカ砥粒の吸着・脱落状態が実時間で把握できる。そこで、表5に示す実験条件でフェライトを切断し、電流値変化を測定した。その結果を図8に示す。まず、加工物と回転するブレードを離しておいて電場を作用させた。この時、100mAを越える電流値が測定された。しかし、30秒後に

Table 3 Dicing conditions

Blade: SD500N75M (D70mm H40mm t0.1mm)
Depth of cut: 1mm, Feed rate: 5mm/min
Spindle revolution: 5000rpm
Cutting fluid: Colloidal silica 30wt%, 7ℓ/min
Applied voltage: 0V, 30V
Workpiece: Lithium niobate

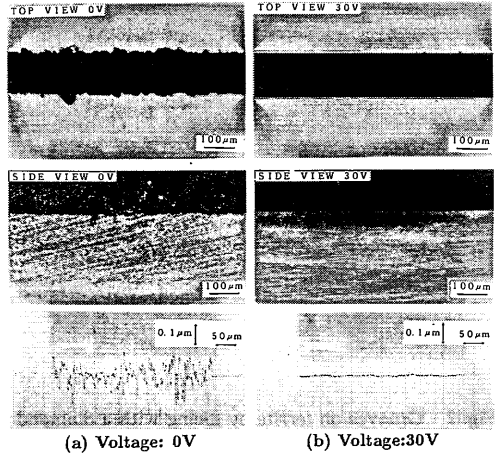


Fig. 6 Grooves on lithium niobate by dicing with a diamond blade applying electrophoretic deposition

は約40mAまで低下してほぼ安定した。これはシリカ砥粒がブレードに吸着し、30秒間成長を続けたことを示している。次に、加工を開始すると電流値は上昇し、切断中は70mAで安定する。さらに、加工終盤にブレードがフェライト端部から抜け始めると電流値は再び低下する傾向を示した。すなわち、加工開始時の急激な電流値の上昇は、ブレード先端のシリカ層の脱落を示している。これによって露出したダイヤモンド砥粒が、能率良く溝を形成していくのである。

一方、ブレード先端に吸着したシリカ層がすべて加工中にはく離した場合、初期電流値を示すと予想される。しかし、加工中は初期電流値よりも低い70mAに落ち着いていることより、シリカ層はある一定の厚みを維持し、切断溝に対し、研磨作用を行っているものと考えられる。この研磨作用により、チッピングが除去され、切断面が鏡面に仕上げられるのである。図中、加工が終了したときに再び電流値が低下するのは、研磨作用によるシリカ吸着層への負荷が軽減され、シリカ層の成長速度が脱落速度を上回ったためと考えられる。

4. お わ り に

本論文では、超微細砥粒の電気泳動現象を利用した

研 究 速 報

Table 4 Dicing conditions

Blade: SD500N75M (D70mm H40mm t0.1mm)
 Depth of cut: 1mm, Feed rate: 5mm/min
 Spindle revolution: 8000rpm
 Cutting fluid: Colloidal silica 30wt%, 7ℓ/min
 Applied voltage: 0V, 60V
 Workpiece: Ferrite

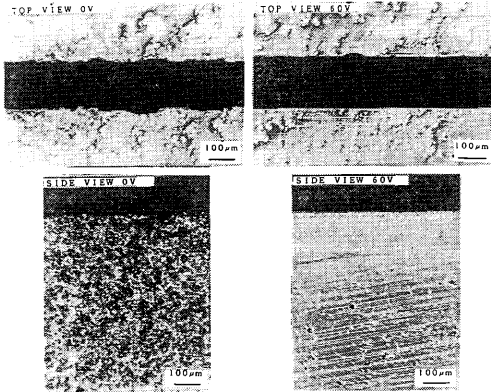


Fig. 7 Grooves on ferrite by dicing with a diamond blade applying electrophoretic deposition

EPDダイシング法の加工特性、および加工メカニズムについて検討を行い、以下のような結論を得た。

- (1) シリコンの溝切り加工では、電気泳動現象でブレードに吸着したシリカ層自体が研削性能を有することが判明し、チッピングの無い溝が得られた。
- (2) 導電性のダイヤモンドブレードに超微細シリカ砥粒を電気泳動現象で吸着させることで、光学材料、磁性材料に対し、チッピングを抑制し、かつ切断面の粗さが良好な加工を行うことができた。
- (3) ダイヤモンドブレードを用いたEPDダイシングでは、まずブレード中に含まれるダイヤモンド粒が切断溝を創生し、次にシリカ砥粒が切断面を研磨して、チッピングを除去し、切断面の粗さを向上させることが判明した。

Table 5 Experimental conditions

Blade: SD500N75M (D70mm H40mm t0.1mm)
 Depth of cut: 0.4mm, Feed rate: 5mm/min
 Spindle revolution: 5000rpm
 Cutting fluid: Colloidal silica 30wt%, 7ℓ/min
 Applied voltage: 20V
 Workpiece: Ferrite

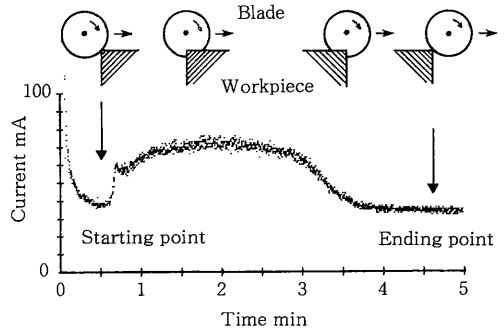


Fig. 8 Variation of current during dicing of a ferrite

最後に、工業技術院 機械技術研究所所長 佐藤壽芳先生には貴重な御助言を賜った。岡本工作機械製作所(株)には実験装置等でご協力頂き、(株)東京ダイヤモンド工具製作所にはブレードを提供して頂いた。記して関係各位に感謝を申し上げる。なお、この研究の一部は平成2年度文部省科学研究費補助金(試験研究(B)課題番号02555024)によって行われたことを付記する。

(1991年2月13日受理)

参 考 文 献

- 1) 貴志浩三, 市田良三, 微粒CBNおよびダイヤモンド砥石による鏡面研削, 機械と工具, Vol. 29, No. 2(1985) pp. 17-21.
- 2) 池田勝一: コロイド化学, 裳華房 (1986) p. 117.
- 3) 黒部利次, 今中 治, 阪谷勝明: 電気泳動現象利用による表面研磨, 精密工学会誌Vol. 52 No. 3 (1986) pp. 547-552.
- 4) J. IKENO, Y. TANI, H. SATO: Nanometer Grinding Using Ultrafine Abrasive Pellets, Annals of CIRP 39/1/1990 pp. 341-344.