

ELID研削法による高精度高品位加工

—高硬度および硬脆材におけるELID研削—

小松 利安・日原 政彦・八代 浩二

High Precision Micro Machining by ELID Grinding

—Study on ELID Grinding of Hardened and Brittle Materials—

Toshiyasu KOMATSU, Masahiko HIHARA and Koji YATSUSHIRO

要 約

エポキシ系樹脂とFeやTiN粉末等を混合して作製した軸付砥石を用いて、タンタル酸リチウム (LiTaO₃) をELID研削法により加工した場合の研削特性について検討した。従来の研削法と比較してELID研削法を用いると、加工面はより微細な加工痕が観察され、表面粗さは約 1 / 2 程度向上した。除去効率は、FeよりTiN粉末混合砥石が約1.5倍ほど向上した。本実験で使用した軸付砥石でも、ELID研削法の適用により鏡面仕上げ加工や段付き加工が可能になることが確認できた。

Abstract

This paper describes that the effect of precision machinability on various working conditions for LiTaO₃ single crystal wafer by Electrolytic In-Process Dressing (ELID) method. Dressing wheel like shift type that made of composed epoxy resin and Fe or TiN powders were used in this experiment. The surface roughness of LiTaO₃ wafer grained by ELID improved more than about 1/2 times compared with normal one. The surface after working was shown very fine grinding marks. Working efficacy of used TiN composited wheel increased with Fe composited wheel. It was found that the ELID method was possibility high quality polishing for the LiTaO₃ wafer.

1. 緒 言

ファインセラミックスや熱処理金型鋼等の硬脆材の高精度・高品位加工においては、遊離砥粒による仕上げや手磨きに頼るところが多く、加工時間やコストの増加、作業者の習熟度による、製品のばらつき等の問題が生じている。近年、高精度研磨工程には、加工工程の自動化や高能率加工さらには三次元的な加工等、高機能性を付与した研磨・加工技術が求められている。これまでの研究では、電解作用により微細砥粒を突出させ、鏡面研削加工を可能にしたELID研削法¹⁾により、汎用平面研削盤を用いて行うと、従来のラッピング・ポリッシング等の加工工程が短縮^{2) 3)}できることを明らかにした。

本研究は、自動化や曲面加工に優位性を持つマシニングセンタを用いて、軸付砥石によるELID研削法の可能性と適用性について検討した。なお、軸付砥石を用いてELID研削を行う場合、ツールパス過程によっては、電解用電極が被加工物と干渉するために、この手法による研削加工⁴⁾はあまり行われていない。そのため、従来法とは異なる給電方法を考案し、硬脆性材料の高精度平面研削加工を行い、

新たな電解条件等の基礎的データを蓄積するとともに、ELID研削法の3次元研削等の可能性をも検討した。

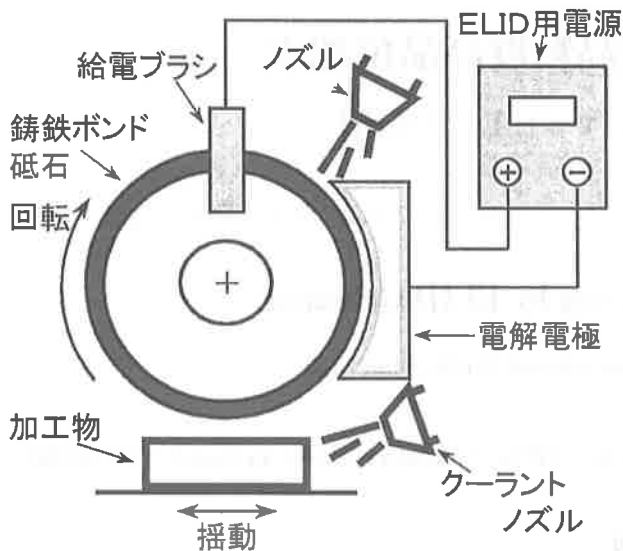
2. 実験方法および装置

2-1 実験方法

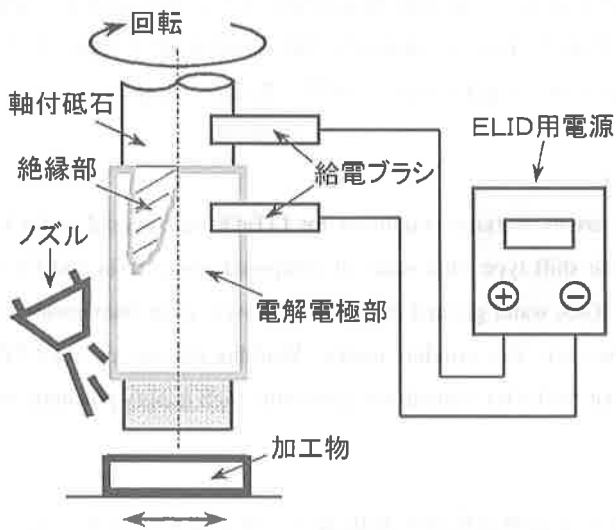
平面研削盤を用いる場合は、図1(a)に示すように、砥石表面に対して電解用電極を取り付けた機構によりELID研削を行っている。しかし、軸付砥石を用いる場合には、加工中に電解用電極が被加工物に接触する可能性があり、平面研削盤と同様な電極を設置することは非常に困難となってくる。そのため、図1(b)に示す、砥石軸周辺に絶縁層をはさんで金属箔を接着し、これを電極とする軸付砥石を作製した。

軸付砥石を用いたELID研削の場合、メタルボンド砥石を使用すると、電解作用による金属成分の溶出が大きくなり加工が困難になることが明らかとなった。そのため、熱硬化型一液性エポキシ系樹脂(スリーボンド社製)と金属粉を混合させた砥石を試作した。

砥石径は、φ8mmであり、樹脂に混合する金属粉を変化



(a) 平面研削の場合



(b) 軸付砥石を用いた場合

図1 軸付砥石を用いたELID研削法の概念図

させて、電解作用の異なる砥石によりELID研削特性を比較検討した。用いた金属粉は、鉄 (Fe) と窒化チタン (TiN) の2種類であり、参考に不導体である、ホワイトアラダム (WA, 主成分はアルミナ) を混合した砥石も準備した。

2-2 実験装置

加工は、図2に示すマシニングセンタ (三菱電機社製: M-V40A-G) を用いて行った。表1に主な機械仕様を示す。なお、ELID研削は、電解用電極を加工機本体から電気的に絶縁させて行った。

研削方向は図3のような経路で、一往復当たりの送り量は1mmで、加工面から完全に抜けた時に、設定量だけ切込む方法で加工を行った。

使用した試験片 (加工物) は、タンタル酸リチウム (LiTaO_3) 単結晶を用いた。電子顕微鏡等の測定を考慮して、寸法は10mm角、厚さ約0.7mmとした。なお、この試験

片は熱軟化性のワックスにより、治具に接着固定した。

加工面粗さの測定は、触針式表面粗さ測定機 (東京精密社製: hasndysurfE-30A) を使用し、表面粗さ値は、中心線平均粗さ (Ra) 方法を用い、5箇所の測定値による平均値からデータを整理した。研削加工面の観察は、走査型電子顕微鏡 (日本電子社製: JSM-5310LV) により行った。加工表面を脱脂した後、金蒸着を行い観察した。

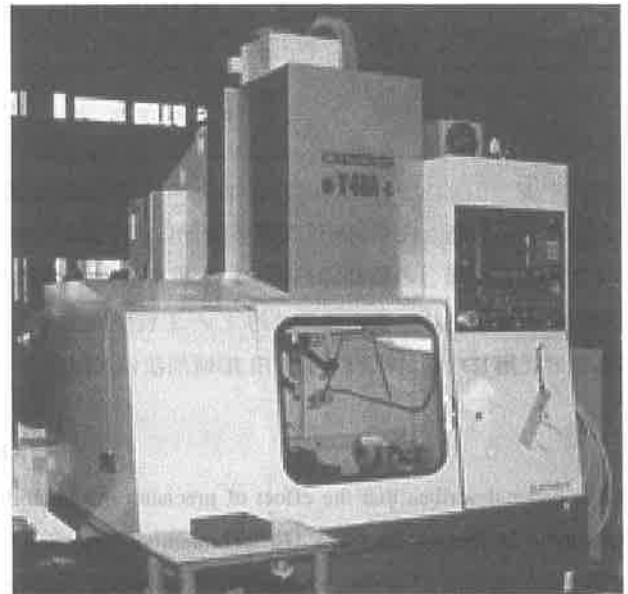


図2 使用したマシニングセンタ

表1 装置の機械的仕様

最小切込量	0.001mm/パルス
主軸回転数	100~10000rpm
主軸出力	5.5kW

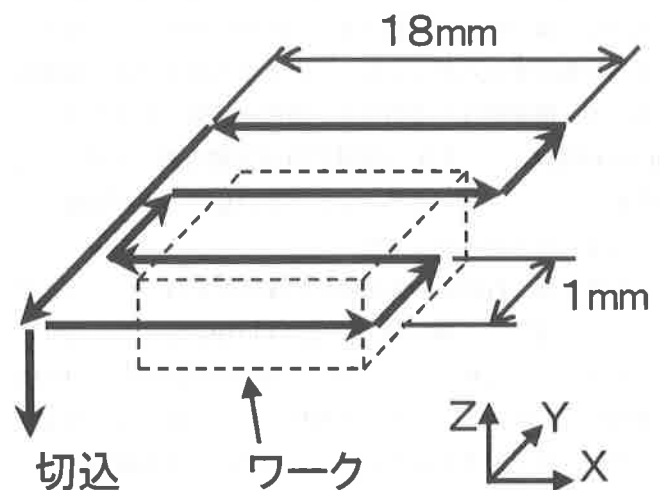


図3 砥石経路図

3. 結果及び考察

3-1 軸付砥石によるELID研削加工

研削加工は、砥石軸回転数800rpm、テーブル送り速度200m/min、設定切込量 $2\mu\text{m}$ と条件を一定とし、電解電圧を変化させて、加工表面粗さと除去特性の関係について検討した。

得られた結果を図4および図5に示す。作製した軸付砥石は、ダイヤモンド砥粒#1000、ボンド材の混合比率（重量比）を、エポキシ：混合材=1：4（一定）にした。図4から、金属粉を混合させた砥石によるELID研削は、用いた砥石成分の違いにより、表面粗さは著しく異なった。なお、ELID研削した試験片の表面粗さは、行わない場合に比較して、約1/2程度向上した。金属粉を用いたELID研削による表面粗さの向上は、砥粒の機械的脱落の要因よりも、ELID電解作用による砥石の目立て効果の影響が大きいことが解った。なお、FeとTiNの混合材の違いについては、表面粗さの明確な差が認められなかった。

一方、不導体であるWA砥石を用いた場合、ELID電解作用による変化は、電解電圧の増加に伴い粗さが増加する傾向を示した。

#1000のダイヤモンド砥石によるLiTaO₃ウェーハのELID平面研削加工面は、表面粗さが約0.10 μm 程度になることを確認している。よって、表面粗さの点から考えると、本実験で使用した軸付砥石の電極でもストレート砥石の場合と同様に、鏡面仕上加工への適用が可能になるものと考えられる。

除去効率に関しては、Fe粉末混合砥石の場合、電解電圧の増加による除去量の影響は少なかった。しかし、TiN粉末では、初期の大きな除去量が、電圧60Vの近傍で最小値を示し、その後増加する傾向が認められ、FeとTiN粉末混合砥石の除去量を比較すると、TiNが約1.5倍ほど多く除去された。この違いは、Feの場合、研削過程で電解作用を受けやすく、ボンド材に空孔が生じて砥粒が脱落するため、除去量が低下すると考えられるが、本研究では、明確にこのメカニズムを解明することができなかつたので、今後も引き続き検討を行う必要がある。

WA粉末混合砥石を用いた研削加工では、電圧の変化に関係なく除去量は少ない傾向を示した。WA粉末混合の場合、砥石自体の摩耗が激しく、砥石としての機能が無いことがこの実験で明らかとなった。

3-2 軸付砥石による加工面のSEM観察結果

LiTaO₃ウェーハ加工面のSEM観察結果を図6に示す。90V12Aの電解条件で加工した場合と、電解無しの場合について、表面性状の観察を行った。観察部分は、10mm角試験片のほぼ中央で、上下方向にトラバ

ースさせた加工面である。

金属粉を混合した砥石で、従来法の場合は、深い加工傷が多量に観察されたが、ELID研削では、表面に残存する加工痕は少なかった。これは、電解が無い場合、砥石の目詰まりとともに、混合した金属粉自体が試験片表面と砥石間に残存し、ウェーハ表面を傷つけるためと思われる。また、FeとTiN粉末混合砥石とを比較すると、TiN混合の場合、深い加工痕の存在は少なく、良好な加工面が得られた。WA混合の場合は、ELID電解の有無に関わらず、従来法による平面研削で認められた加工痕とほぼ同程度の加工痕が観察された。この結果は、前述の表面粗さの結果と同じ傾向を示している。

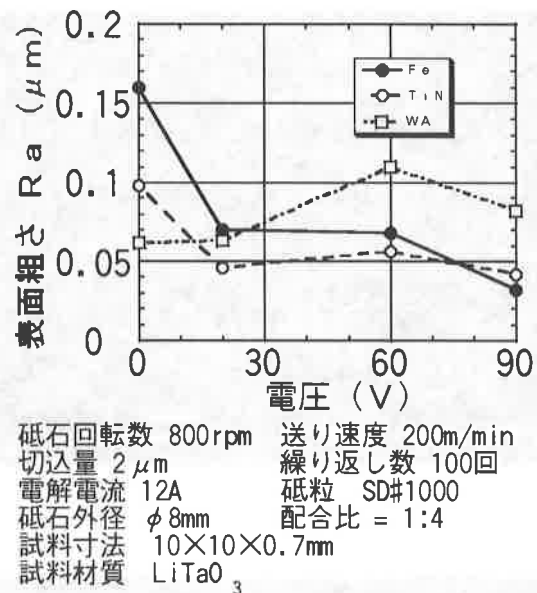


図4 軸付砥石によるELID研削の表面粗さ

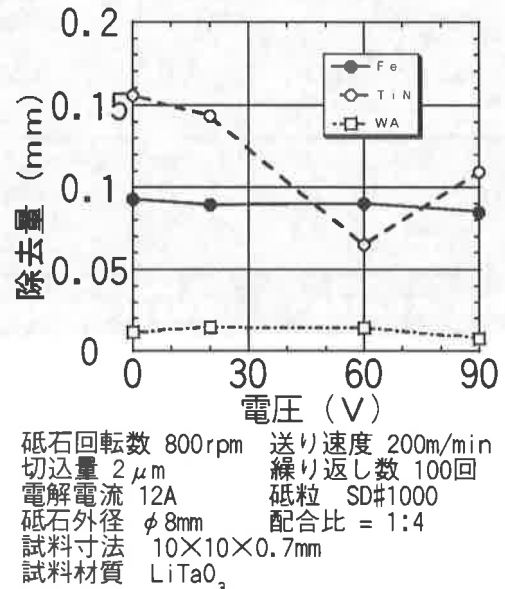
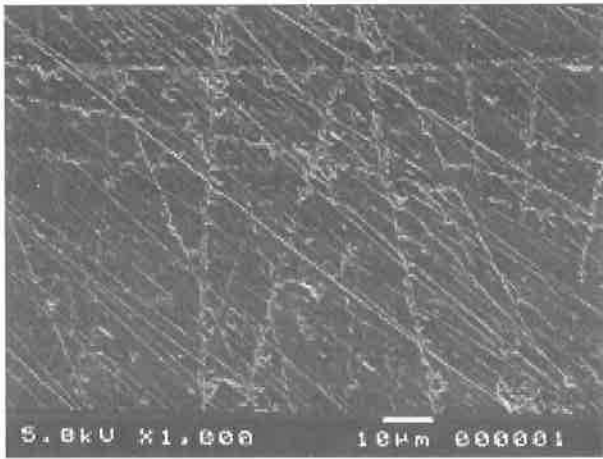
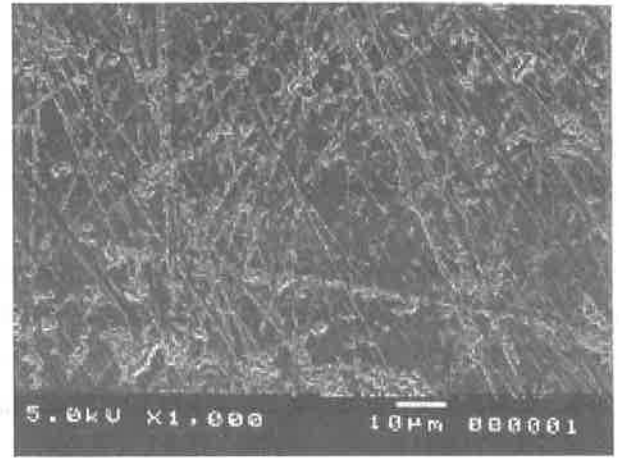


図5 軸付砥石による除去量の変化

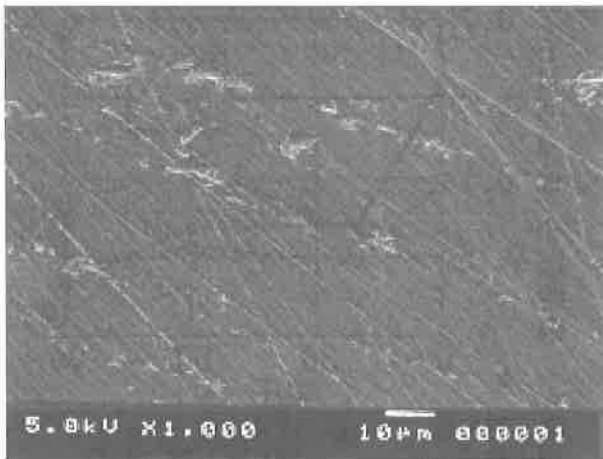


電解あり (90V・12A)

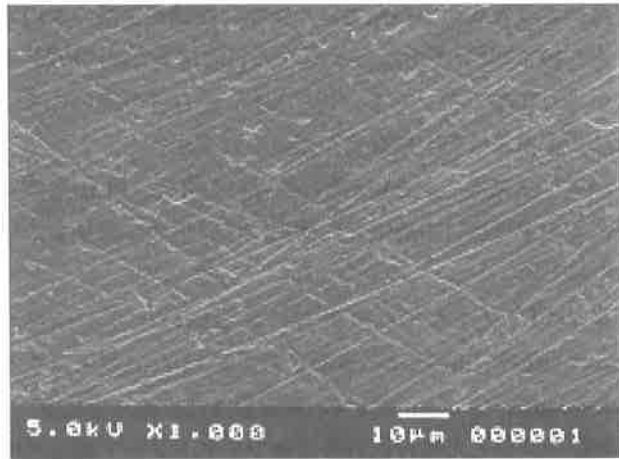


電解なし

(a) Fe粉末混合砥石

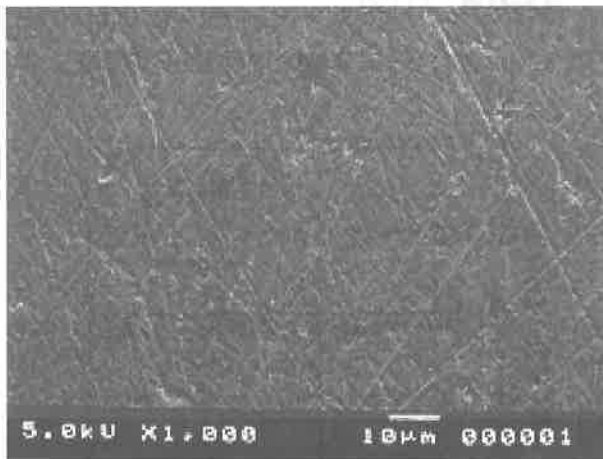


電解あり (90V・12A)

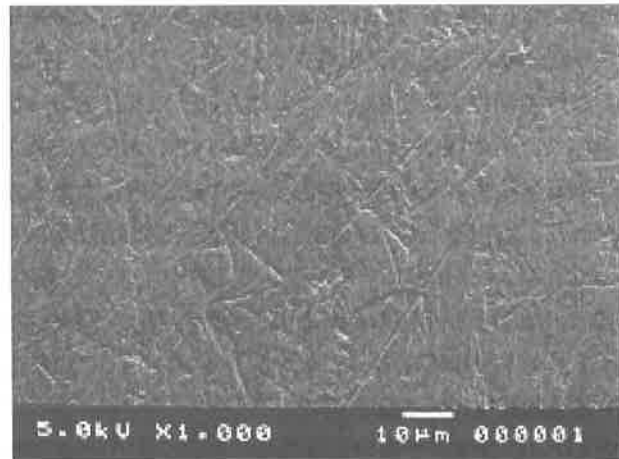


電解なし

(b) TiN粉末混合砥石



電解あり (90V・12A)



電解なし

(c) WA粉末混合砥石

図6 軸付砥石によるELID研削面のSEM観察結果

4. 結 言

硬脆材料における高精度・高品質表面加工法の一つであるELID研削法において、LiTaO₃単結晶ウエーハの精密鏡面加工を行ったところ、以下の結果が得られた。

- 1) 従来法と比較して、FeやTiN粉末混合砥石によるELID研削では、電解条件に関わらず、約1/2程度表面粗さが向上し、除去量は、FeよりTiN粉末混合砥石の方が、約1.5倍程度増加した。
- 2) WA混合砥石でのELID研削は、電解効果がなく、表面粗さの値は変化しないことが明らかとなった。
- 3) LiTaO₃ウエーハ研削面のSEM観察では、FeおよびTiN粉末混合砥石ともに、従来法に比べELID研削法では加工痕が微細で、加工表面は良好となった。

- 4) 試作したFeやTiN粉末混合軸付砥石においても、ELID研削法を適用して鏡面仕上加工が可能となった。

参考文献

- 1) 大森整他：超精密鏡面加工に対応した電解インプロセスドレッシング (ELID) 研削法, 精密工学会誌, 59, 9, (1993) P1451.
- 2) 藤原和徳他：ぜい性材料の精密研削における加工条件と評価技術の確立, 山梨県工業技術センター研究報告書, (1995) P7.
- 3) 小松利安他：水晶振動子のELID研削加工, 砥粒加工学会学術講演会講演論文集, 6月 (1998) P327.
- 4) 大森整他：電解レスELID研削による円筒内面仕上げ方式と効果, 砥粒加工学会誌, 43, 12 (1999) P557.