研究速報

UDC 621.922.023：666.5：539.53：539.56

高密度低結合度ラッピング砥石を用いた硬脆材料の鏡面研磨

Mirror Finishing of Brittle Materials Using High-Concentration Lapping Discs with Low Bonding Strength

谷　泰弘*・河田研治**
Yasuhiro TANI and Kenji KAWATA

1．はじめに

光学機器や電子機器の高性能化に伴い，それら部品の加工に際して粗さや形状精度などの幾何学的精度に加えて，加工変質の少ないことが求められるようになってきている．これら光学部品や電子部品には金属材料のみでなく硬脆材料も多用されており，砥粒加工法はこれら部品の最終仕上げに重要な加工法となっている．この砥粒加工法でダメージの少ない加工を行うには2つの基本的な考え方が存在する．その1つは加工の際に生じるダメージを減少させることであり，今1つは化学的作用の併用[1]によって前加工によって生じたダメージを除去することである．

ダメージを減少させるための方法として，以下の2つの方法があげられる．第1は砥粒切込み深さを減少させることであり，これは研削力を減少させることにつながる．砥粒切込み深さを減少させる最も容易な方法は，高精度な加工機械を使用して砥石切込み深さを小さく設定することである．しかし，この方法では加工能率もそれに応じて低下することになる．

有効切れ刃数は砥粒切込み深さを支配するもう一つの要因である．砥石切込み深さを維持したままで，この有効切れ刃数を増加させても，砥粒切込み深さを小さくすることができる．有効切れ刃数を増加させるには，微細砥粒からなる砥粒密度の高い砥石を使用することが効果的である[2]．しかしながら，微細砥粒砥石は目づまりしやすいという欠点を持っている．

機械的なダメージを減少させる今一つの方法は，結合度の低い砥石を使用することである．切れ刃の鈍った砥粒の加工域からの除去は，研削力の増加を抑制するだけでなく，目づまりの防止にも役立つ．しかし，あまりに活性な自生発刃は砥石摩耗を増大させるとともに加工能率の低下にもつながる．それゆえ，砥石結合度には最適な値が存在し，その値は加工物材料や研削条件，特に加工物硬度と砥粒切込み深さによって影響される[3]．

化学的作用によりダメージを除去するには，加工物材料と何らかの化学的反応を生じる軟質砥粒を用いるか，加工液として何らかの化学的溶液を使用すればよい．化学研磨やメカノケミカルポリシングはダメージフリーを実現する加工法として知られており，これは化学的作用が表面のダメージを取り除くことが可能であるばかりでなく，ダメージを生じない加工であることを意味している．

以上のような観点から，著者らは砥粒密度が高く結合度が低い図1のような『高密度低結合度ラッピング砥石』を開発した[4]．この砥石の有効切れ刃数が多くしかも目づまりしにくいという特徴を生かすために，加工物材料との間でメカノケミカル作用あるいはケモメカニカル作用を有する微細砥粒を用いた高密度低結合度ラッピング砥石を製作した．本報ではその砥石の硬脆材料に対する加工特性について検討を行った．

2．シリコン単結晶の研磨

シリコン単結晶の（100）面を，平均粒径5 μmの炭酸

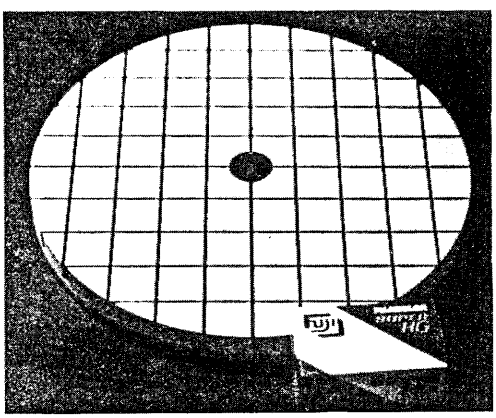


図1　高密度低結合度ラッピング砥石の外観

*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
**タイホー工業㈱

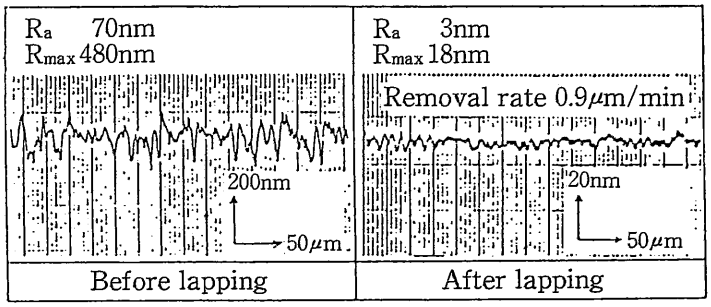


図2　炭酸カルシウム砥石を用いたシリコンウエハの乾式研磨結果

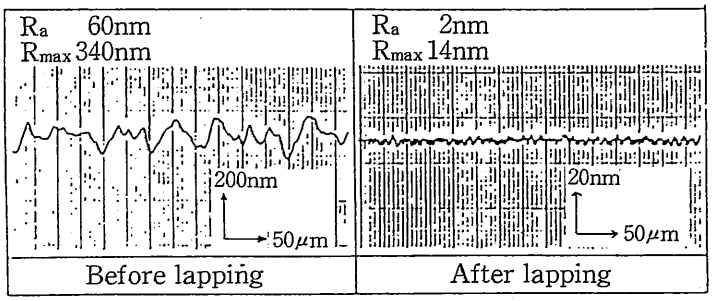


図3　酸化珪素砥石を用いたシリコンウエハの湿式研磨結果

カルシウム砥粒を結合した高密度低結合度砥石を用いて乾式研磨した際の仕上げ面粗さを，図2に示す．加工圧が0.3MPa，研磨速度が30m/minの時の加工能率が0.9 μm/minで，前加工面粗さ70nmR_a（480nmR_{max}）の加工物を10分間研磨した後の仕上げ面粗さが3 nmR_a（18nm R_{max}）であった．炭酸カルシウムや炭酸バリウムなどのパウダーはシリコンに対してメカノケミカル作用を行うことが知られており[5]，これらをポリシャ上にふりかけて遊離砥粒状態で研磨を行った例がある[5]．本研究では固定砥粒研磨方式でしかも0.3MPaという高圧を作用させたために，加工能率はその安永らの結果の50～100倍にもなっている．シリコンよりも軟らかい硬度を持つ炭酸カルシウムによって高い加工能率が得られていることから，この場合の作用機構はシリコン表面の酸化膜（SiO_2）と炭酸カルシウムとの固相反応を基本形態とするメカノケミカル作用であると考えられる[5]．

一方，前加工面粗さ60nmR_a（340nmR_{max}）のシリコン単結晶の（100）面を平均粒径5 μmの酸化珪素砥石で湿式研磨した際の仕上げ面粗さを，図3に示す．この時，その砥石の上にpH13のコロイダルシリカを供給しながら研磨を行った結果，加工能率2.4μm/minと仕上げ面粗さ2 nmR_a（14nmR_{max}）が得られている．この時の作用機構は，シリコンあるいはシリコン表面の酸化膜（SiO_2）とアルカリとの固液相反応であると考えられる[6]．

表1は，高密度低結合度砥石として，平均粒径5 μmの酸化ジルコニウム砥石，平均粒径5 μmの酸化珪素砥石および平均粒径40nmのシリカ微粉末砥石を用いて，種々の研磨液を用いながらシリコンウエハを研磨したときの加工特性を示している．加工能率は酸化ジルコニウム砥石とpH13に調整したコロイダルシリカの研磨液の組み合わせの場合が最も高くなっている．これは，アルカリ性コロイダルシリカによるケモメカニカル作用に加えて，酸化ジルコニウム砥粒が酸化珪素砥粒に比べて硬度と靭性が高く機械的作用が大きかったためと考えられる．また，シリカ微粉末砥石の仕上げ面粗さが砥粒径の小さいわりに良くなっていないのは，砥石中の砥粒の分散が悪く凝集粒子として挙動したためと考えられる．

研磨液としては，アルカリ性コロイダルシリカを使用したときに，加工能率，仕上げ面粗さ共に良い値を示している．KOH溶液を使用したときには，強アルカリによる化学焼けが生じて，シリコンの表面が荒れる現象が見られた．このため，化学やけが生じていない部分の粗さは22nmR_{max}であったのに対して，化学やけを生じた部分の粗さは67nmR_{max}であった．また，純水を使用した場合には，加工能率は0.2μm/minと低いものの，仕上げ面粗さ2 nmR_a（24nmR_{max}）の鏡面が得られている．

研究速報

表1　高密度低結合度砥石を用いたシリコンウエハの化学的研磨結果

Lapping disc		Lapping fluid		Removal rate μm/min	Roughness nm	
Abrasive grain	Grit size		pH		Ra	R_{max}
ZrO_2	5μm	Colloidal silica	13	2.4	2	16
SiO_2	5μm	Colloidal silica	13	1.9	2	14
SiO_2	40nm	Colloidal silica	13	1.6	2	14
SiO_2	5μm	Colloidal silica	10	1.2	2	10
SiO_2	5μm	KOH solution	13	0.9	2	22
SiO_2	40nm	DEA solution	12	0.4	2	12
SiO_2	5μm	Pure water	6	0.2	2	24

DEA: Diethanolamine
Lapping pressure: 0.3MPa, Lapping speed: 30m/min

3．窒化アルミニウムの研磨

窒化アルミニウム基板は熱伝導率が高いことで知られており，放熱性を重視する場合の基板として使用されている．しかし，現在の基板はその特性を得るために添加されている物質のために焼結性が悪く，加工の際に焼結粒子の脱粒が起こりやすいことが問題となっている．この窒化アルミニウム基板を，加工圧0.15MPa，研磨速度30m/minで酸化クロム砥石やベンガラ（酸化鉄）砥石などを用いて研磨した時の加工特性を，図4に示す．図から明らかなように加工能率は酸化クロムや酸化アルミニウムの砥石が高く，仕上げ面粗さはベンガラや酸化アルミニウムの砥石が好ましい結果を示している．このうち，酸化クロムと酸化アルミニウムの砥粒の場合は常温における硬度が窒化アルミニウムと同等かあるいはそれより硬いため，砥粒の機械的作用とも考えられるが，ベンガラや酸化セリウムの砥粒のように窒化アルミニウムより軟らかい粒子でも鏡面が得られていることは興味深い．もちろん，硬度については砥粒と加工物とが接触する局所的な研磨領域における温度での比較をしなければならないが，常温における両者の硬度差が比較的大きいことから，メカノケミカル作用を伴う研磨の可能性を有しているものと思われる．

図5は，平均粒径2μmの酸化クロム砥石を用いて前加工面粗さ1μmR_{max}の窒化アルミニウム基板を加工圧0.1MPa，研磨速度30m/minで1時間研磨した時の表面の微分干渉顕微鏡写真と仕上げ面粗さを，0.5μmのダイヤモンド砥粒を用いて加工圧12kPa，研磨速度10m/minで銅定盤上で1時間ラップした表面のものと比較して示している．このように，通常の研磨加工では荷重を小さくしても脱粒のない面を得ることは困難で，そのため仕上げ面粗さを向上させることも難しい．一方，高密度低結合度ラッピング砥石を用いて研磨を行った場合には，6 nmR_a（80nmR_{max}）の脱粒のない非常に平滑な面が得られている．このように，高密度低結合度砥石を使用すれば，ダメージの少ない研磨を行うことができる．この時の加工能率は0.5μm/minであった．また，20nmR_aの仕上げ面粗さであれば，30分程度の研磨により得られている．

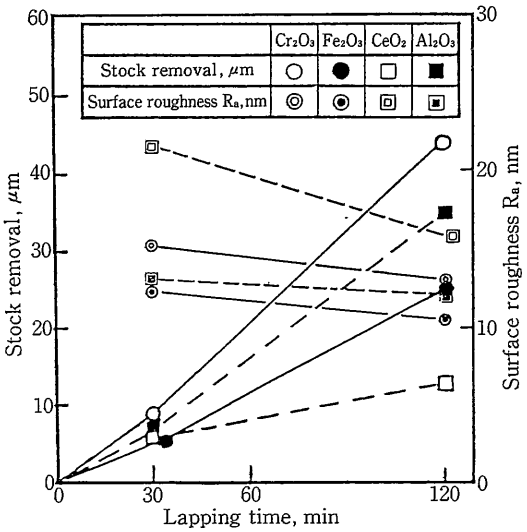


図4　高密度低結合度砥石を用いた窒化アルミニウムの研磨特性

4．その他の硬脆材料の研磨

表2は，高密度低結合度ラッピング砥石で種々の硬脆材料を研磨した結果をまとめたものである．セラミックスのような焼結材料では素材自身が欠陥を有していることが考えられるが，表2に示されるようにほとんどの硬

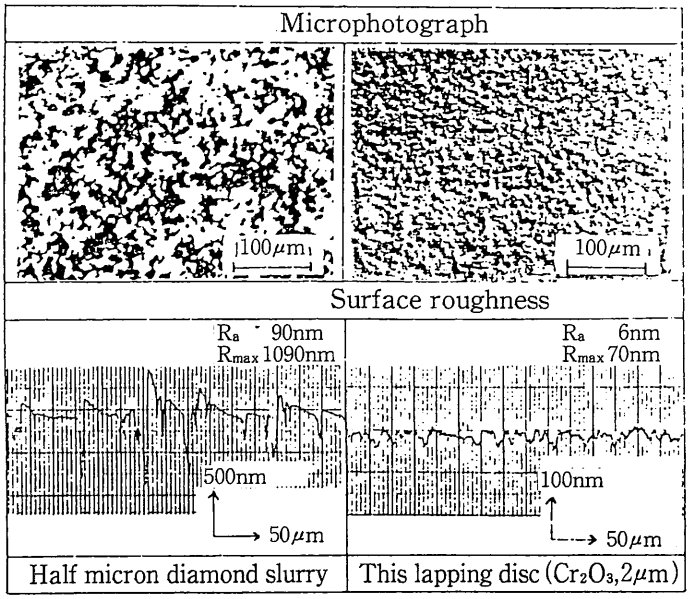


図5　酸化クロム砥石を用いた窒化アルミニウムの研磨結果

表2　高密度低結合度砥石を用いた硬脆材料の研磨結果

Material	Lapping disc		Roughness nm	
	Abrasive grain	Grit size μm	R_a	R_{max}
Lime glass	CeO_2	2	3	30
Optical glass (BK7)	CeO_2	2	2	15
Silicon monocrystal	SiO_2	5	2	15
Mn-Zn Ferrite	Fe_2O_3	0.1	3	50
Sendust	CeO_2	2	3	50
Aluminum nitride	Cr_2O_3	2	6	80
Silicon nitride	Cr_2O_3	2	3	40
Silicon carbide	Mixture*	2	8	80
Zirconia	Cr_2O_3	2	3	30

＊Mixture of Cr_2O_3 and Al_2O_3

脆材料に対して仕上げ面粗さ0.1μmR_{max}以下（数nmR_a以下）の鏡面が得られている．これらの研磨においても，砥材と加工物の硬度比較から，機械的作用のみでなく化学的な作用が働いているものも存在すると考えられる．

以上のように，高密度低結合度砥石の有効切れ刃数が多いことを利用して，砥材として化学的作用を有する砥粒を用いた砥石により硬脆材料の研磨を行った結果，数nmR_a以下の鏡面を得ることが可能になった．

5．おわりに

高能率に硬質材料の鏡面を得ることを目的として，砥粒密度が高く結合度の低いラッピング砥石を開発した．本報では，この砥石の作用砥粒数が多く目づまりしないという特徴を生かした，化学的研磨に対する加工特性について検討を行い，以下のような結果を得た．

（1）シリコンウエハに対して軟質砥粒を用いた乾式および湿式のメカノケミカル研磨を行い，2～3 nmR_aの鏡面を得た．

（2）窒化アルミニウムの研磨を酸化クロム砥石で行った結果，脱粒の無い6 nmR_aの鏡面が得られた．

（3）種々のセラミックスに対して化学的な研磨を行った結果，数nmR_aの鏡面を得た．

（1991年7月15日受理）

参考文献

1) Brown, N.J., Precision Engineering, 9-3 (1987-7), 129.
2) 海野，機械と工具，34-4（平2），23.
3) ファインセラミックス成形･加工と接合技術編集委員会編，ファインセラミックス成形・加工と接合技術，(1989)，64，㈱工業調査会.
4) 河田・谷，生産研究，40-10（昭63），504.
5) 安永・ほか2名，電総研研究報告，№776（昭52），109.
6) 唐木，機械と工具，28-8（昭59），38.