

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月23日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360061

研究課題名（和文）ショットキー接触を用いた金属材料精密切削

研究課題名（英文） Precision cutting of metal by the newly tools with the Schottky contact

## 研究代表者

江龍 修 (ERYU OSAMU)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：10223679

研究成果の概要（和文）：成果は下記の2種類に大別できる

## 1：刃物用単結晶 SiC 製造の為のドーピング元素効果

結晶成長時に純チタン又は純鉄を添加した。目的は、結晶の劈開を少なくすることである。数種類の元素を試し、下記の結果を得た。1-1 チタンドーピング：劈開は極めて少なくなる。一方、摩耗性が高くなり、刃物としては適さない状態となった。1-2 鉄ドーピング：劈開は完全には抑えられないが、純粋な単結晶に比べると、格段に劈開しにくくなる。ダイヤモンドワイヤーソーによる結晶スライス時のカッティングひずみは  $10\mu\text{m}$  以内に抑えられ、刃具として適切なドーピング元素の一つと考える。

2：単結晶刃先そのものを加工センサとして形状化した。具体的には、単結晶刃先とロウ付けを行った超硬材料の双方に電極を形成し、シリコンカーバイドの圧電性を利用して、加工時に信号を取り出した。切り込み深さによって出力信号が変わることを確認できたが、目標とした「信号量と加工深さの線形性の実現」までには至らなかった。主原因は加工機（旋盤）のモーターノイズが出力信号に重畳していることが挙げられる。得られた成果を元に、ロックインアンプ等を用いた出力信号取り出しを試みている。超硬台座は金属であるため、容易にオーミック電極を形成できる。シリコンカーバイド側にはオーミック電極を得ることが出来なかったことも、センサとしての線形性を阻害するものであった。鉄元素をドーピングすることによって電子状態が大きく変わっており、単結晶シリコンカーバイドに対するオーミック電極材料とは異なる材料の探査が必要である。

研究成果の概要（英文）：The result is classified roughly into two kinds of follows.

## 1: I checked a doping element effect for single-crystal SiC production for knives.

I have doped pure titanium or pure aluminum at the time of crystal growth. A purpose is to reduce the cleavage of the crystal.

1-1 Titanium doping: There becomes extremely little cleavage. On the other hand, the tool became easy to be worn.

1-2 Iron doping: Restraint of the cleavage of the tool is not enough. However, the knife is hard to perform cleavage in comparison with the single crystal which I do not dope. The crystal was made foil with a diamond wire. Processing distorted layer was 10 microns of SiC. On the other hand, processing distorted layer more than 3 times is formed of the non-doped crystal. Iron is one of the doping elements which is appropriate as a blade tool. The function of the sensor for processing was incorporated in SiC tool.

2: The point of a tool got the function of the processing sensor. Specifically, I formed Schottky electrode on SiC and formed ohmic electrode to a pedestal. I utilized the piezoelectric nature of SiC and detected stress to occur on the point of a tool at the time of processing as an electrical signal. The output signal changes according to cut thickness. However, quantity of signal and the correlation of the processing depth are not provided. It is cited in the main cause that the motor noise of the processing

machine overlaps with the output signal of the sensor. I try the output signal takeoff using lock in amplifiers. Because the pedestal is metal, the formation of the ohmic electrode is easy. On the other hand, I think that the linear nature as the sensor was not provided because I was not able to get ohmic electrode in the silicon carbide side. The doping of the iron greatly changed an electronic property of SiC. The development of the ohmic electrode formation technology for SiC where iron was doped is necessary.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	9,900,000	2,970,000	12,870,000
2011年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、生産工学・加工学

キーワード：切削・研削加工

### 1. 研究開始当初の背景

従来、精密加工を議論する際、単結晶ダイヤモンドによる加工方法が第一に取り上げられてきた。これは炭素原子同士の共有結合による硬質さと、単結晶であるが故にもたらされる切れ歯稜線の平坦さを用いた加工手法である。物理的硬度と形状因子を取り入れた加工方法である。しかし、この点において、ダイヤモンドが持つ負性電子親和力という表面電子状態が見落とされてきた。ダイヤモンド工具を用いて鉄等の炭素化合物を形成しやすい材料の加工を行う場合、脱炭と呼ばれる現象が生じ、ダイヤモンドの刃先の極端な摩耗が見られる。これはダイヤモンドが持つ負性電子親和力が原因である。ダイヤモンドと鉄との接触に限らず、電子のやりとりが生じる材料同士の接触において、摩耗や元素拡散と言った化学反応が生じる。化学反応が議論される場合は、多くが原子・分子単位であり、かつ、極めて清浄な表面現象に限定されていた。これはタングステンカーバイド(WC)とコバルトが主材料の超硬刃先が多数の粒界によって形成されていて、加工現象を考える上で刃先と被削物との化学反応性を考えなければならない以上に、シャープエッジが得られないことからくる被削材と刃先接触面の増大がもたらす発熱現象が支配的であったことによると考える。単結晶ダイヤモンド工具においては、刃先のシャープエッジは得られているが、ダイヤモンド表面と被削物との電子のやりとりが見過ごされていたため、加工現象のトリガが化学反応によって生じていることが見落とされてき

た。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、萌芽研究で得た成果を進展させ、金属と半導体炭化ケイ素(SiC)単結晶を接触させた際に、相互に電子のやりとりが少ない事を利用した、新規の精密加工機構の解明と化学的相互作用から加工を俯瞰する学問的分野の創成にある。具体的には次の手法を開発し考察する。

- ① SiC単結晶の面方位を正確に定めた研磨手法を確立し、結晶構造から決定される表面電子状態を得る。その後、それを刃先とする刀具(旋削バイトチップ)を作製し、被削材の10ナノメートルオーダー仕上げ時の仕上げ面精度と結晶面方位との相関を明らかにする。それより、表面電子状態と被削材との化学反応性を定性的に明らかにする。
- ② 加工時の電氣的接触状態を実時間で観測する手法を確立し、表面電子状態と被削材との化学反応性を定量的に明らかにする。

### 3. 研究の方法

金属加工を刃物と被削材との電子のやりとりの観点から見直し、被削材と刃物との間の電子のやりとりが少ない事を利用した精密加工機構の創成と化学的相互作用から加工を俯瞰することを目的としている。そのため、次の手法に取り組んだ。

- ① SiC単結晶の面方位を正確に定めた研磨手法の確立とそれを刃先とする刀具の作製

旋削用刃物を作製するため、平坦面であるすくい面および曲面であるにげ面を、それぞれ所望も角度を設けて化学機械的研磨加工(CMP)を実現できる装置を完成させる。前段研究において、結晶の劈開面との関係で、±0.1度の精度で加工する必要があることが解ってきた。定盤の仕様は、機械振動が含まれる機械ベアリング方式ではなく、空気ベアリングを採用する。また、曲面をCMP加工する為に、刃先高さの調整機構を有する自動ゴニオステージを採用する。

②結晶材料の劈開を制御するため、SiCの機械的強度を変化させるためのドーピングを行う

単結晶材料であるSiCは、単結晶特有の劈開が生じることが知られている。半導体素子製造を目的とした単結晶材料で刀具を試作した場合、容易に劈開する。その為、格子面の滑りをピン留めさせ劈開をさせ難くする必要がある。その為に、環境性、資源性を考慮した元素を選定し、結晶成長時にドーピングし、刃物性能の変化を評価する。

③実刀具を用いて種々の材料に対する加工実験を実施する

特に航空機等に有望視されているTi系材料の加工試験を実施する。様々な結晶方位を刃先とし、結晶表面の電子状態とワークとの反応性との相関を見出す。

#### 4. 研究成果

① 半導体加工装置製造企業であるMAT社の協力の下、刀具専用CMP加工機を完成させた。具体的には旋削用チップのすくい面及び逃げ面のCMP加工が可能である。CMPによってダイヤモンドを用いて一次加工した表面を単結晶状態とすることで、砥石による形状研削仕上時に比べ、格段にチッピングが生じにくくなり、単結晶の有する靱性を活用できるのみならず、研究の目的である加工時に切削状況をその場観察可能な半導体素子品質の刃先が実現できた。

② 開発した曲面CMP技術により、単結晶成長時にドーピングした元素の濃度と種類とに依存した切削効果を得た。第一に、無ドーピング刃先では若干の断続切削によってチッピングが生じる。第二に、Si元素位置に元素半径の大きい原子のドーピングをすることで、純Ti加工時の対摩耗性が向上し、切り込み深さ0.5 $\mu\text{m}$ において実用的加工長を得た。具体的には、結晶成長時に純チタン又は純鉄を添加した。数種類の元素を試し、次の結果を得た。1-1 チタンドーピング：劈開は極めて少なくなる。一方、摩耗性が高くなり、刃物としては適さない状態となった。

1-2 鉄ドーピング：劈開は完全には抑えられないが、純粋な単結晶に比べると、格段にへき開しにくくなる。ダイヤモンドワイヤーソーによる結晶スライス時のカッティングひずみは10 $\mu\text{m}$ 以内に抑えられ、刃具として適切なドーピング元素の一つと考える。

③ 単結晶刃先は単に鋭利化が出来るのみではなく、単結晶刀具ならではのワークと刃物との接触様式があると仮説を立てた。旋盤加工の為にチップホルダと合せ刃先開発を行った。その結果、旋削加工における新規刃当たり手法を見出した。高速度カメラを用い、切り粉排出の詳細観察を行なっている段階である。純Ti旋削速度は切り込み1 $\mu\text{m}$ で240m/minを実現している。連続切削距離は20kmを越えている。また、単結晶刃先そのものを加工センサとして形状化した。具体的には、単結晶刃先とロウ付けを行った超硬材料の双方に電極を形成し、シリコンカーバイドの圧電性を利用して、加工時に信号を取り出した。切り込み深さによって出力信号が変わることを確認できたが、目標とした「信号量と加工深さの線形性の実現」までには至らなかった。主原因は加工機(旋盤)のモーターノイズが出力信号に重畳していることが挙げられる。得られた成果を元に、ロックインアンプ等を用いた出力信号取り出しを試みている。超硬台座は金属であるため、容易にオーミック電極を形成できる。シリコンカーバイド側にはオーミック電極を得ることが出来なかったことも、センサとしての線形性を阻害するものであった。鉄元素をドーピングすることによって電子状態が大きく変わっており、単結晶シリコンカーバイドに対するオーミック電極材料とは異なる材料の探査が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

1) Yayoi Tanaka, Takao Kanda, Kazuyuki Nagatoshi, Masami ichi Yoshimura and Osamu Eryu "The atomic step induced by off angle CMP influences the electrical properties of the SiC surface", Silicon Carbide and Related Materials 2011, Part 1, pp. 569-572 (2012)

[学会発表] (計6件)

1) 江龍 修、「SiCの研磨技術-原子・電子から見た表面」、砥粒加工学会 招待講演、於新東工業(株)豊川製作所、2010.10.15、

2) 江龍 修、「パワーデバイス用SiCの最先端研磨技術とその評価技術」、砥粒加工学会 招待講演、於ニコン相模原製作所、

2010.12.8

3) 江龍 修、「SiC加工表面の非接触評価」、応用物理学会 表面分科会 招待講演、於 京都テルサ 大会議室、2011.6.23

4) 江龍 修、「省エネルギー、省電力のための半導体デバイスの先端加工技術、半導体デバイス加工総論」、日本機械学会 招待講演 於 日本機械学会会議室、2011.08.03

5) 江龍 修、「金属加工製品の上位価値を創成する工具イノベーション」、日本 MOT 学会、於 名古屋工業大学、2012.03.01

6) 江龍 修、「SiCの加工技術」、応用物理学会第21回 SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会、於 大阪府中央公会堂、2012.11.20

〔図書〕(計1件)

分担執筆 江龍 修 他 34名、「SiC パワーデバイス最新技術」、サイエンス&テクノロジー、総ページ数 314 内 10、発行年 2010

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

研究協力者 企業ホームページ

[http://www.chubu.meti.go.jp/koho/ki\\_gyo/20091225monodukuri.htm](http://www.chubu.meti.go.jp/koho/ki_gyo/20091225monodukuri.htm)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

江龍 修 (ERYU OSAMU)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：10223679

### (2) 研究分担者 無し

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者 無し  
( )

研究者番号：