

アルミニウム加工用切削工具の特性向上のためのDLCコーティング材料開発

鷹林 将

有明工業高等専門学校 創造工学科 エネルギーコース

E-mail: stak@ariake-nct.ac.jp

藤井 勝志

株式会社アヤボセンタン研

平田 直之

株式会社アヤボ

1. 研究の背景と目的

福岡県におけるアルミニウム再生地金やアルミニウム合金の出荷額は年々増加しており、平成30年度には524億円にまで達した。アルミニウムに代表される非鉄金属の大牟田市の出荷額は、県内では北九州市に次いで第2位となっている。こうしたアルミニウム合金は自動車部品や半導体製造装置向けに加工されており、加工現場では、コスト低減や短納期化のために、刃具費の抑制や高能率化が課題となっている。

DLCは炭素材料の一種で、図1に示すように、 sp^3 炭素・ sp^2 炭素・水素の三成分から構成されているアモルファス性固体材料である。これら三成分の割合を任意に変えることで、比誘電率、低摩擦性、膜硬度、生体親和性などを制御することができ、その特性は電気・機械・医療という幅広い分野において重宝されている。しかしながらその産業的価値と比較して、基礎化学構造と各物性との関係については、未だ不明な点が多い。

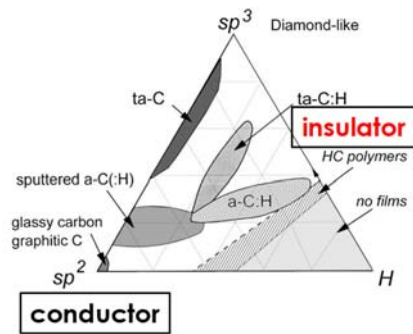


図1. DLCの三相図 (参考文献[1]より引用。ただし一部追記)。 sp^2 炭素・ sp^3 炭素・水素三成分比を変えることによってその電気特性を自在に操ることができる。

本共同研究では、切削工具メーカーである株式会社アヤボセンタン研ならびに株式会社アヤボと連携して、DLCの低摩擦特性を活かしたその表面成膜によるアルミニウム加工用エンドミルの長寿命化を最終意図とした。DLCの物理および化学的解析から、これに適したDLCの製造法の開発を試みた。

2. 成果

まず、これまで用いてきたDLC薄膜の基礎物性を調べた。DLC薄膜試料は、グラファイトをターゲットとしたアーク法を用いて作製し、水素含有の有無の違いによる2種類を用意した。評価は、九州シンクロtron光研究センターBL12にて、光電子分光を行った。同測定には、各試料を任意温度で30分間真空アニールした試料を用いた。アニール終了後大気曝露せずに自然冷却し、超高真空状態を維持したまま光電子分光 C 1sスペクトル測定を行った。

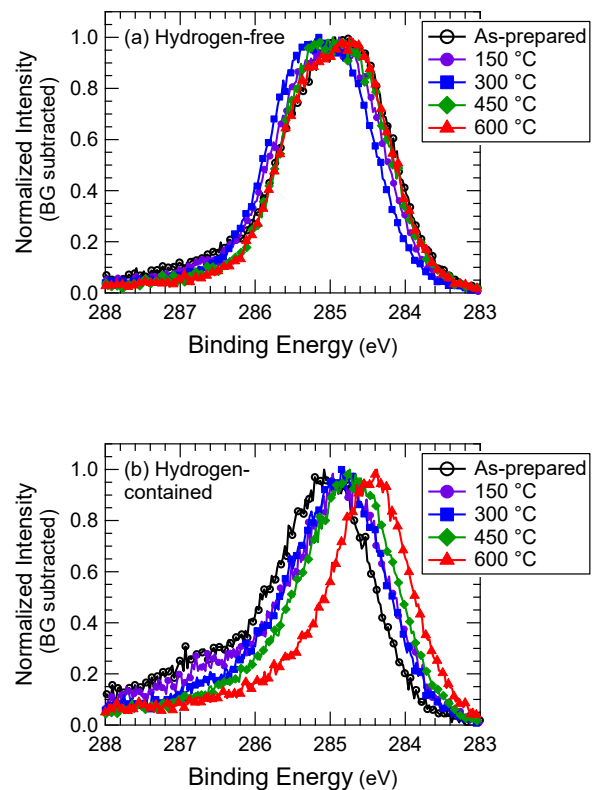


図2. DLC 薄膜の C 1s スペクトルの真空アニール処理温度依存性: (a) 水素なし DLC 薄膜、(b) 水素含有 DLC 薄膜。

図2(a)に、水素なしDLC薄膜のC 1sスペクトルの真空アニール温度依存性を示す。各スペクトルは、バックグラウンドをShirley法で除去した後に強度規格化した。図2(b)には、水素含有DLC薄膜に関する同結果を示す。両図の比較から明らかのように、水素含有DLCの方ではスペク

トル位置が、アニール処理により明確にシフトしていることが分かる。また286~287 eVで見受けられる小さな膨らみは、水酸基(C-O)やカルボニル基(C=O)などの表面炭素-酸素結合官能基に由来するものである。この膨らみは300°Cアニール後には消失した。水素なしDLC薄膜は、完全に水素を排除したものではなく、若干量の水素を含有しているために、小さなスペクトルシフトが生じたものと考えられる。

図3に、両DLC薄膜のスペクトルピーク位置の真空アニール温度依存性を示す。水素含有DLCのシフト量が大きいことが分かる。過去の我々の研究により、このシフトはDLC表面からの水素熱脱離によることが分かっている。その温度帯は450~600°Cであり、実際今回の水素含有DLCの結果でも、600°Cアニール後の試料は大きくシフトしていることが分かる。

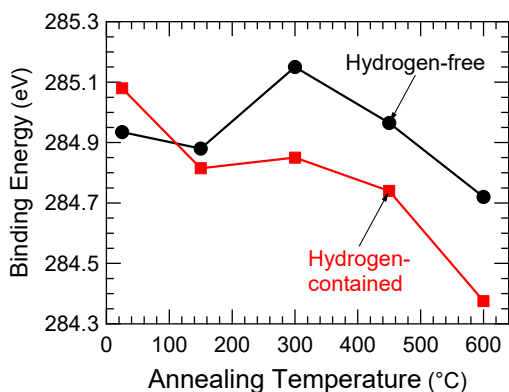


図3. DLC薄膜のC 1sスペクトルピーク位置の真空アニール温度依存性: ● 水素なしDLC, ■ 水素含有DLC。

3. 今後の計画

DLCの成膜は主に、高周波プラズマCVDやスパッタリングで行われている。しかしながらDLCの化学構造は明快な姿を現しているとは言えず、その物性制御は経験に頼るところが大きい。

高周波を使う最たる理由は、電子と粒子との衝突頻度を増やして粒子の電離を促進してプラズマを低エネルギーで安定的に生成することである。電波法の定める工業用周波数として、13.56 MHzが最もよく用いられている。しかしここに、プラズマ化学反応制御への大きな障害が存在する。それは、高周波環境では電圧と電流を個々に測定するのは困難ということである。装置と測定系間の容量形成による変位電流の影響が正確な測定を難しくするため、代わりに両者の積である電力が簡便な制御変数として用いられている。しかし熱力学的観点からすれば、電流は系のサイズに依存する示量変数であるのに対して、電圧は依存しない示強変数である。電気化学的視点に立脚すれば、化学反応の選択と進行は両変数の関係性(電流-電位曲線など)に因るものであり、その積には依存

しない。ある目的の量を得るためには、系に外力を加えて化学平衡状態からずらさなければならないが(逆も然り)、電力では結果がどちらの変数をどの程度動かして得られたものが明確ではない。系のインピーダンスが大きく変動しなければ反応量が電力量に依存するのはオームの法則から当然であるが、これは本質的なものではない。さらに高周波プラズマは発生範囲を限定できないので、反応とその生成物はチャンパー中に広く生じてしまい、定量性にも問題が残る。

そこで我々は独自に、「光電子制御プラズマCVD (Photoemission-assisted plasma-enhanced chemical vapor deposition, PA-PECVD)」という、基板からの放出光電子を利用する新規DCプラズマCVD法を開発した(図4)。PA-PECVDでは、負にDCバイアスされた基板に紫外光を照射させて、そこから光電子を取り出して初期電子として活用することで放電プラズマを発生させる。光照射のない通常の系では、初期電子となる宇宙線などにより自然に存在している自由電子(偶存電子)の数が不定かつ著しく少ないために放電開始電圧は一定しないが、多量の光電子はこれを低く一定にすることができる。PA-PECVDはDC法であるために印加電圧を正確に測定できる。プラズマ発生面積は光照射部位に限定され、かつ空間電荷効果からプラズマは基板直上近傍に集中するので、電流密度も精密に評価できる。したがってPA-PECVDを用いることで、目的に応じたDLC薄膜を精密に成膜できることが期待される。

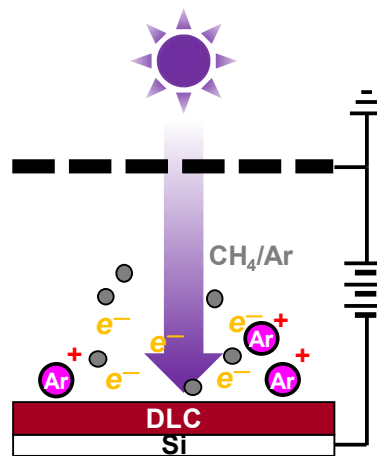


図4. PA-PECVDによるDLC成膜の模式図。

参考文献

- 1) J. Robertson, Mater. Sci. Eng. R, **37** (2002) 129-281.
- 2) T. Takami, S. Ogawa, H. Sumi, T. Kaga, A. Saikubo, E. Ikenaga, M. Sato, M. Nihei, Y. Takakuwa, e-J. Surf. Sci. Nanotechnol., **7** (2009) 882-890.
- 4) 鷹林 将, 高桑 雄二, 炭素 **286** (2019) 14-25.
- 5) 鷹林 将, 高桑 雄二, 炭素 **293** (2020) 80-91.