

# Cu 中間層の創成による DLC 薄膜の密着力向上

東海大学院 工学研究科  
東海大学 工学部

○杉浦 友哉  
神崎 昌郎

## 1. 緒言

DLC 膜は高硬度・低摩擦などの特徴を持っていることから、硬質潤滑膜として期待されており切削工具や潤滑剤が使用できない摺動部へのアプローチが試みられている。また、表面の平滑性に優れ、比較的絶縁性が高いことから、ヒートシンクなどへの応用にも期待が持たれている。しかしながら、DLC はダイヤモンドに比して、熱伝導率が低く、冷却効果は十分でない。また、炭素原子間の結合力が強く、異種物質との結合力が弱い<sup>1)</sup>ため、基板、特に鋼材に対する密着力が弱いことが問題点である。これにより DLC 膜は形成可能な基板の材質が限定されている。

本研究では、切削工具に応用した場合の温度上昇抑制やヒートシンクに応用した場合の冷却性向上を目的に、DLC 膜と基板との中間層に Cu を用い、熱伝導性を向上させることとした。また、化学的に安定な C-Cu の結合が存在しない<sup>2)</sup>ため、切削工具へ応用する際に重要な密着力を向上させる手段として C-Cu を混合傾斜させ評価することとした。

## 2. 実験方法

本研究では、Cu 中間層を設けた DLC 膜（以降 DLC/Cu 膜）および Cu 中間層から DLC 膜へ傾斜組成させた（以降 C-Cu 傾斜膜）2 種の膜を DC 二元マグネトロンスパッタリング法により形成した。ターゲットには、純度 5N の C ターゲットおよび純度 4N の Cu ターゲットを用いた。また基板には、20mm 口に切り出した厚さ 0.5mm の単結晶 Si ウェハおよびφ30mm、厚さ 3mm の SUJ2 基板を用いた。今回 Si 基板の他に SUJ2 基板を用いたのは、一般的な鋼材である SUJ2 を基板に用いることで DLC 膜の鋼への密着性を評価するためである。

形成条件として、薄膜形成時の基板温度の違いによる密着力の変化を評価するために基板温度を 100°C、200°C、300°C の三水準に変化させた。

薄膜の評価は以下のようにした。DLC/Cu 膜および C-Cu 傾斜膜の密着力評価にはロックウェル試験機を、また圧痕周りの剥離の観察にはデジタルマイクロスコープをそれぞれ用いた。なお、ロックウェル試験は C スケールで行った。ロックウェル試験機により生じた圧痕の周りの剥離範囲を観察することにより、Cu 中間層の形成の有無等による相対的な密着力の違いを評価した。

## 3. 実験結果および考察

Fig.1 に 100°C で形成した 3 種類の DLC 膜の SUJ2 基板上への密着性の違いを示す。DLC 膜単体では薄膜形成直後から広範囲に剥離が認められた。それに対し、Cu 膜を中間層として形成した場合、もしくは、Cu 膜を傾斜組成化した場合には、SUJ2 基板に DLC 膜を形成させることが可能であった (Fig.1 参照)。すなわち、傾斜組成化の有無にかかわらず、鋼材である

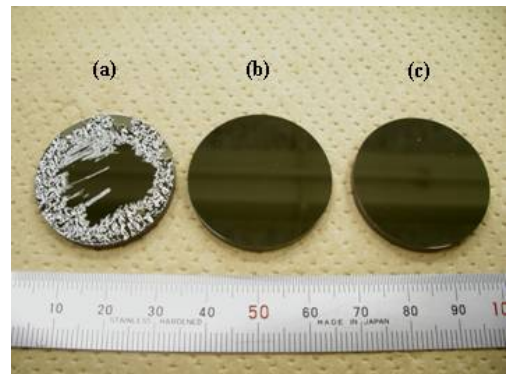


Fig.1 Three different types of DLC films deposited on SUJ2 substrates at 100°C.

(a) DLC film (b) DLC/Cu film  
(c) C-Cu gradient composite film

SUJ2 基板と界面に Cu 層を形成することにより DLC 膜の密着力が向上することが確認できた。次に、基板温度を変化させて形成した薄膜の SUJ2 基板への密着性について述べる。先にも述べたように、基板温度に関係なく SUJ2 基板上には DLC 膜単体を形成することができなかった。C-Cu 傾斜膜の成膜においては基板温度を 100°C とした場合のみ形成することができたが、200°C、300°C と基板温度を上昇させるにつれ、剥離範囲が拡大する傾向があることが確認できた。また、DLC/Cu 膜に関しては基板温度を 200°C とした場合でも SUJ2 基板上に剥離することなく DLC 膜を形成することができた。このように膜の形成手段によって創成できる基板温度が異なるのは Cu が存在することによる熱伝導率、および、それに伴う熱膨張率の違いから生じる応力の差によるものと推測される。C-Cu 傾斜膜が 200°C で形成できなかった理由として、傾斜組成化させたことで Cu が DLC 膜内部に存在することにより C と Cu の熱伝導率・熱膨張率の違いから膜内部に応力が残留し剥離に至ったと考えられる。このことから、DLC 膜へ Cu を用いる場合、低温での形成が有効であると考えられる。そこで今回、100°C で形成した膜の密着力評価を行った。ロックウェル試験を用いての剥離観察を行った膜は基板温度 100°C で形成したものである。Cu を用いた 2 種の膜上の圧痕を比較すると、圧痕周りの剥離範囲の違いが認められた。DLC/Cu 膜は C-Cu 傾斜膜に比べ圧痕周りで大きく剥離していることが確認できた。

## 参考文献

- 1) M. D. Bentzon, K. Mogensen, J. Bindslev, C. Barholm-Hansen, C. Træholt, P. Holiday, S. S. Eskildsen. Surf. Coat. Technol.,68/69(1994)651-655.
- 2) A. F. Ioffe Physico, Diamond Relat. Mater., 4(1997)171-189.