

マイクロスクラッチ針による銅膜の損傷過程

表面物性(馬場)研究室 小川 雅司
M003505 OGAWA, Masashi

目的

金属薄膜は厚さ 100nm 程度では、薄膜の耐久性の他に、表面のトライボロジカルな強度が重要になってくる。本研究では、真空蒸着によりガラス基板に対して Cu 薄膜を作製し、その付着力特性をマイクロスクラッチ試験で調べ、摩擦係数、摩耗、寿命(薄膜の丈夫さ)などが膜厚によりどのように変化していくかを調べることにした。マイクロスクラッチ試験で示す生データと光学顕微鏡による観察と比較により、低荷重で生じる損傷と高荷重で生じる損傷の 2 種類を確認することができたので、これらの損傷がどのような過程で起きているのか、特徴を調べた。

実験概要

真空蒸着で蒸着した 100、150、200 nm の Cu 薄膜に、先端曲率半径が 15 μm 、100 μm のダイヤモンド圧子を用いてマイクロスクラッチ試験を実行した。スクラッチは Cu 薄膜が基板から剥がれるまで走査した。針荷重 vs 摩擦力を示す試験データからは 2 種類の損傷様式が常に観測される。このうち、低荷重で生じる損傷を LcA、高荷重で生じる損傷を LcB とした。R=100 μm の試験では、摩擦の挙動変化(LcA、LcB)が明確であった。一方、R=15 μm における LcA、B は緩やかに変化するため、各点の変化が始まる点をそれぞれ LcA1、LcB1、変化が終わる点を LcA2、LcB2 に分けて、各点の荷重値、摩擦係数、摩擦力などの関係をまとめてみた。

実験結果

生データから LcA (LcA1、LcA2)点、LcB (LcB1、LcB2)の発生個所を特定し、各臨界点での荷重値を算出した結果を図 1 に示す。R=100 μm の圧子の場合、LcA、B 共に、厚い試料ほど大きな臨界荷重値を示した。しかし、R=15 μm では LcB2 点は膜厚が厚いほど大きな荷重値を示したが、LcA1 損傷は膜厚の薄い試料ほど大きな荷重値になることが分かった(薄い膜の方が壊れにくいと言う面白い特性である)。そこで R=15 μm の LcA 点に注目して研究を進めた。

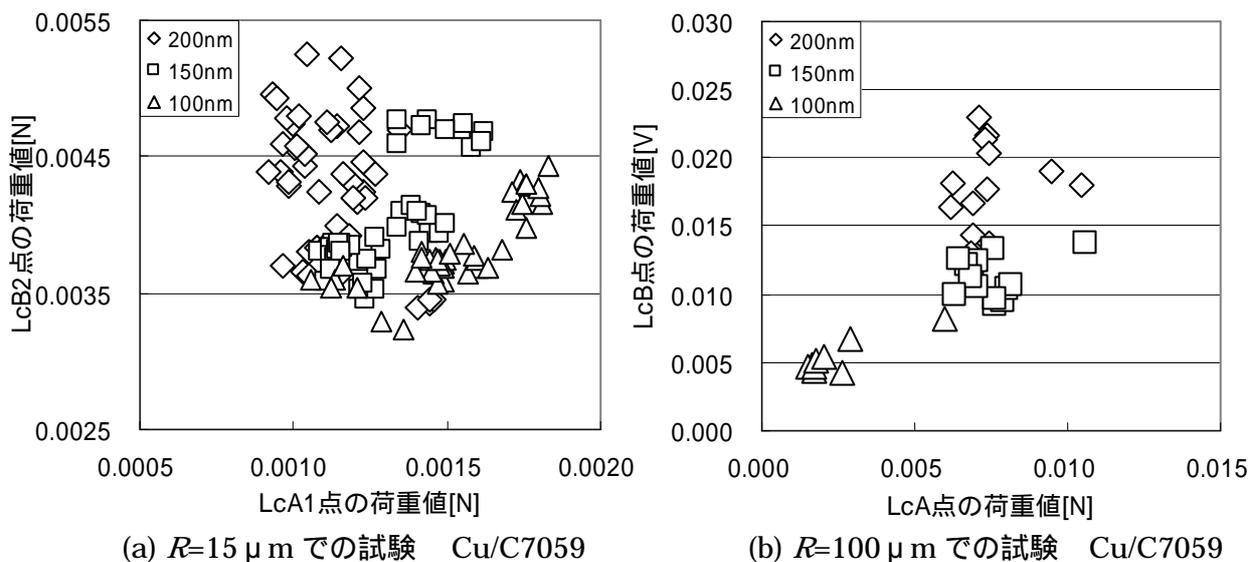


図 1 R=15、100 μm 試験における LcA と LcB 損傷の荷重値の相関

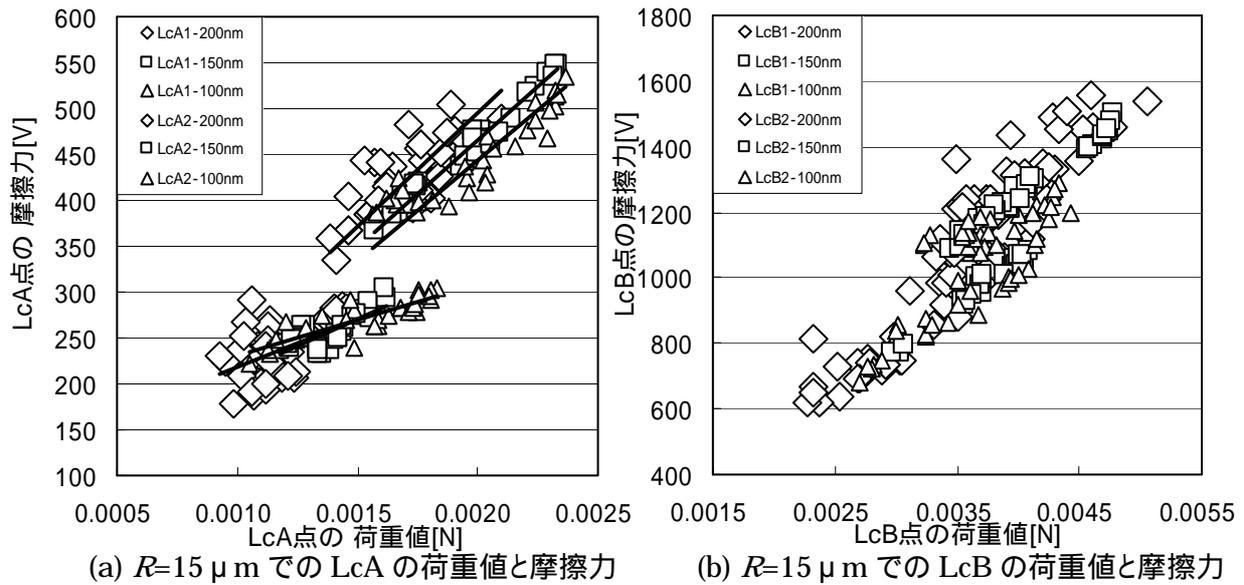


図 2 $R=15 \mu\text{m}$ 試験における荷重値と摩擦力の分布

次に、LcA、LcB 各損傷の発生した荷重において荷重値、摩擦力あるいは摩擦係数がどのような分布を持っているかを調べてみた(図 2)。図 2 から次のことが読み取れる。

1. LcA1 損傷が起こりにくい試料では摩擦係数が小さい。LcA1 臨界における摩擦力は、針荷重にあまり強く依存しない。また、LcA1 の発生する(荷重、摩擦力)の点は、膜厚にあまり依存せず、一本の直線上にのる。これは、膜厚によらない性質を原因として LcA1 損傷が生じていることが予想される。
2. LcA2 の発生は、原点を通る直線上にのっている。また、その直線は膜厚によって異なる。膜厚の大きいほうが臨界の摩擦力が大きい。
3. LcB1 の発生する臨界点(荷重、摩擦力)は、原点を通る直線上にのる。膜厚によってあまり変わらない。
4. LcB2 の発生する臨界点の摩擦力は、膜厚が薄いほど小さい。また、その分布は 100nm 厚の傾きが 150、200nm 厚の場合と比較して小さい。

まとめ

ダイヤモンド針($R=15 \mu\text{m}$)で Cu 薄膜をスクラッチしたときに生じる損傷について、以下のことがわかった。

- LcA1 は膜の上表面に発生する損傷が考えられる。膜表面は膜厚が薄い方が硬いという実験結果があり、表面が硬いほど LcA1 の荷重値は大きいという傾向に一致している。摩擦力は膜厚によらずほぼ一定であり、薄い膜の方が摩擦係数は小さいといえる。LcA1 は薄膜表面の硬さの影響を大きく受けることになる。鋭い針先でのみ生じる特異な損傷という特性も説明がつく。LcA2 は、A1 に引き続いて膜内部に損傷が及んだのであろう。
- LcB 損傷は、Cu 薄膜 / ガラス基板の界面の影響を大きく受けて発生していることがわかった。光学顕微鏡で観測した場合、LcB2 で Cu 膜が破れていることが多かった。