1518 ポリカーボネート基板上に蒸着した金薄膜 の繰返し負荷に伴う変形の観察

Observation of Deformation of Au Thin Film Deposited on Polycarbonate Substrate Subjected to Cyclic Loading

○ 学 佐藤直行 (岡山大院) 正 多田直哉 (岡山大自然)
正 清水一郎 (岡山大自然) 胡 垂菲 (岡山大院)

Naoyuki SATO, Naoya TADA, Ichiro SHIMIZU and Yafei HU
Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530, Japan

Key words : Thin Film, Au, Cyclic Loading, Polycarbonate, Crack

1. 緒 言

現在、フレキシブルプリント配線基板に代表される樹脂上金属薄膜は電子デバイスを中心に様々なアプリケーションで使用されている。しかしながら、薄膜はバルク材とは異なる性質を有する場合が多いため、その使用の際には、別途、力学的試験を実施することが求められる。樹脂基板上薄膜の疲労寿命に関する研究として、D. Wang ら⁽¹⁾はポリイミド基板上 Cu 薄膜の疲労試験を行い、Cu 膜の膜厚が厚いほど疲労寿命は短くなり、欠陥が生じる際のひずみも小さくなることを明らかにしている。一方、P. O. Renault ら⁽²⁾はポリイミド上に金薄膜を蒸着して、引張り試験を実施し、引張り力が臨界引張り力を超えたときにき裂が発生し、その後はく離が発生することを明らかにしている。しかしながら、このような樹脂基板上薄膜の変形挙動に関する各種因子の影響は、未だ充分には解明されていない。そこで本研究では、耐熱性を持つ樹脂であるポリカーボネート基板上に微小金薄膜部を真空蒸着により作製し、その後ポリカーボネート基板に対して繰返し引張りを与える試験を実施し、金薄膜の表面上に発生したき裂に対する薄膜の形状や膜厚の影響について検討した。

2. 試 験 方 法

2.1 試験片

本研究では、Fig.1 に示すように基板となるポリカーボネート(PC)平板試験片上に微小な金薄膜部を真空蒸着により作製して試験に供した。全長 130mm、つかみ部幅 10mm、ゲージ部長さ 50mm、ゲージ部幅 5mm、厚さ 0.5mm の PC 基板上に、スロットグリッド ((株) Pyser-SGI 製, HF50) を基板試験片の長手方向 L(0deg), それに直交する方向 T(90deg), L と T の中間方向 D(45deg) の 3 方向に向けて設置し、イオンコーター ((株) エイコー・エンジニアリング製, IB-5) を使用して真空蒸着を実施した。蒸着条件を Table 1 に示す。1 回あたりの蒸着時間は 600s とし、その後 300s 停止のサイクルで行い、全蒸着時間を 21600s とした。膜厚 h を表面形状測定顕微鏡 ((株) キーエンス製, VF7500) を用いて測定した。膜厚は Fig.2 のように取得した薄膜の高さプロファイルと参照線で囲まれる面積 S を薄膜の幅 w で割った値として求めた。ストリップ D, L, T の各々において 3 箇所の断面で膜厚を測定し、その平均値を平均膜厚 h_{ave} とした。各ストリップの平均膜厚を Table 2 に示す。

Table 1 Condition of Au deposition.

Current (mA)	Deposition Time (s)	Break time (s)	Total deposition time (s)
5	600×36	300	21600

Table 2 Average film thickness of strips D, L and T.

Thin film strip	D	L	T
Film thickness h_{ave} (nm)	423	515	455

Fig.1 Shape of polycarbonate substrate (mm).

Fig.2 Height profile of thin film strip.

2.2 試験装置

繰返し引張り試験に用いた装置の構成を Fig.3 に示す。装置は電磁式微小材料試験機 ((株) 島津製作所製, MMT-100NB-10)、コントローラ、パワーアンプ、パーソナルコンピュータから構成されている。試験はまず、試験片に 120N までの負荷を与え、その後徐荷を行い、つかみ部から取り外し、表面形状測定顕微鏡を用いて膜表面の変化を観察した。続いて、同じ試験片に対して最大負荷 120N、最小負荷 1N で 1000 サイクルの繰返し引張りを行い、その後、表面形状測定顕微鏡を用いて膜表面の変化を観察した。

Fig.3 Test equipments for cyclic tensile test.

2.3 き裂線密度の評価

繰返し引張りによって薄膜上に発生したき裂個数の評価には、次式で表される線密度 ρ_c を用いた。

$$\rho_c = \frac{N_c}{l} \quad (1)$$

ここで、 N_c は膜表面上に発生したき裂の個数、 l は基準線の長さである。各ストリップの基準線長さは Fig.4 に示すように、膜の引張り方向への投影長さとした。今回の試験では、ストリップ D では $1074\mu\text{m}$ 、ストリップ L では $1520\mu\text{m}$ 、ストリップ T では $220\mu\text{m}$ であった。

Fig.4 Length of reference line (μm).

3. 試験結果および考察

引張り負荷を 1 回与えた後の膜表面画像およびシステム金属顕微鏡(株)オリンパス製, BX41M-LED)を用いて撮影したストリップ左端の拡大画像を Fig.5 に示す。膜表面には負荷方向に垂直な方向に多数のき裂が発生していた。発生したき裂が細かったため、き裂を分かりやすく線でなぞってある。ストリップ D では 12 本、ストリップ L では 42 本、ストリップ T では 2 本のき裂が観察された。1000 サイクルの負荷を与えた際の膜表面を観察したが、き裂数は 1 サイクル後の結果から変化はなかった。また、膜表面上に発生したき裂数は同じ負荷を与えたにも関わらずストリップによって異なる値となっていたが、これは①膜厚②ストリップの方向という 2 つの影響によるものと思われる。薄膜上に発生するき裂に及ぼす膜厚の影響に関して、D. Wang ら⁽¹⁾は膜厚が厚い方がき裂が発生しやすいとの結果を得ている。本研究でも、膜厚の最も大きいストリップ L の表面上に最も多くのき裂が発生したものと考えられる。加えて今回の試験では、薄膜に発生したき裂は薄膜の長手方向が引張り軸方向に向いているものの方が発生しやすいという傾向になった。すなわち Fig.6 に示すように、膜厚が最も厚く薄膜の長手方向が引張り軸に向いているストリップ L は最もき裂線密度が大きい値となった。しかしながら、ストリップ D は膜厚が小さくストリップの方向が引張り軸に近い角度であり、ストリップ T は膜厚が大きくストリップの方向が引張り軸と垂直という違いがあり、き裂線密度としてはストリップ D とストリップ T でほぼ同程度となった。今後はしたがって膜厚とストリップの方向がき裂線密度に及ぼす影響を区別して評価する必要がある。

(a) Strip D

(b) Strip L

(c) Strip T

Fig.5 Surfaces image of strips after the first tension.

Fig.6 Linear density of crack of strips.

参考文献

- (1) D. Wang, C.A. Volkert, O. Kraft, Effect of length scale on fatigue life and damage formation in thin Cu films, Materials Science and Engineering, Vol. 493, pp.267-273 (2008).
- (2) P.O Renault, P. Villain, C. Coupeau, P. Goudeau, K.F.Badawi, Damage mode tensile testing of thin gold films on polyimide substrates by X-ray diffraction and atomic force microscopy, Thin Solid Films, Vol.424, pp. 262-273 (2003).