

半導体用テープの新評価方法

New Evaluation Methods for Pressure Sensitive Adhesive (PSA) Tape Utilized in Semiconductor Industry

青垣 智幸*
Tomoyuki Aogaki

宮城 秀文*
Hidefumi Miyagi

加納 義久*
Yoshihisa Kano

概 要 粘着テープの新規評価法として、粘着剤層の変位挙動をレーザ変位計により測定する方法、及び剛体振り子粘弾性装置により評価する方法を提案する。本評価法は、製品形態(粘着テープの状態)で粘着層のみの粘弾性を評価できる。この方法により、ポリマーブレンド系の粘着剤、及び紫外線硬化性成分を導入した分子量の異なるアクリル系粘着剤について評価した。レーザ変位計による変位挙動の評価では、従来の保持力評価等では評価できないテープ特性の差を明確化できた。他方、剛体振り子粘弾性装置では、UV照射時における粘着剤の粘弾性特性の変化を検知できた。本報で提案する評価法は、半導体テープの実用特性と動的粘弾性との因果関係を明確化でき、粘着剤の設計、品質管理に役立つものと期待される。

1. はじめに

1.1 粘着テープが用いられる半導体の製造工程

半導体の製造(組立)は、図1に示されるような工程となっており、ウェハ裏面研削時のパターン面の保護やダイシング(個々のチップへの切断)時の固定用として接着テープが使用されている。これらの粘着テープは、それぞれの加工工程時には強粘着が要求され、工程終了後には容易に剥離できることが必要となる。そのような要求特性を満足する粘着テープとして、UVテープ(アクリル系ポリマー／UV硬化型オリゴマーブレンド)が開発され、市販されている。これらの粘着テープは、ウェハの薄型化、半導体デバイスの高密度化等に伴い、更なる高性能

化・高機能化が必要となっている。たとえば、ウェハ研磨工程においては、ウェハ表面の凹凸を粘着テープで吸収し均一な厚さで薄く仕上げる要求があり、ダイシング工程では、ウェハの薄膜化に伴い軽微な離性が求められる他、ダイシング時に発生するチッピング(チップの破損)への対応等が求められている。特に切断時の固定用途(ダイシングテープ)では、ダイシング時の微小な欠損(チッピング)はテープの特性に起因するところが大きいとされている。チッピングの原因は定かではないが、粘着テープの粘弾性的性質やウェハとの粘着性等様々な要因が複雑に影響しているものと考えられている。いずれの用途に用いられる粘着テープにおいても、はく離時には半導体チップを汚染することなく低いストレスではく離することが求められている。我々は、粘着剤の設計において、半導体製造条件を把握し、粘着剤や基材の厚さ及び粘弾性の最適化を図ることにより、上記の問題点を解決している。

1.2 粘着テープの組成

半導体用テープに用いられるUV硬化型粘着剤は、主成分としてアクリル系粘着剤、光重合性樹脂及び光開始剤をブレンドして調製される。アクリル系粘着剤は、アクリル酸ブチルやアクリル酸2-エチルヘキシルなどのアクリル酸エステルを主成分とし、アクリル酸や酢酸ビニルなどを共重合して調製される。光重合性樹脂は、アクリロイル基等炭素-炭素二重結合を有するモノマーもしくはオリゴマーであり、ポリエステルアクリレート、エポキシアクリレートやウレタンアクリレート等が用いられる。また、アクリルポリマーの側鎖に光反応性を有する官能基を導入して得られる光硬化性アクリルポリマーも使用されている。光硬化性アクリルポリマーは、単独でUV硬化性粘着剤として使用することができる。また、本用途に用いる粘着剤は凝集力を高めるために架橋剤を配合するのが一般的であ

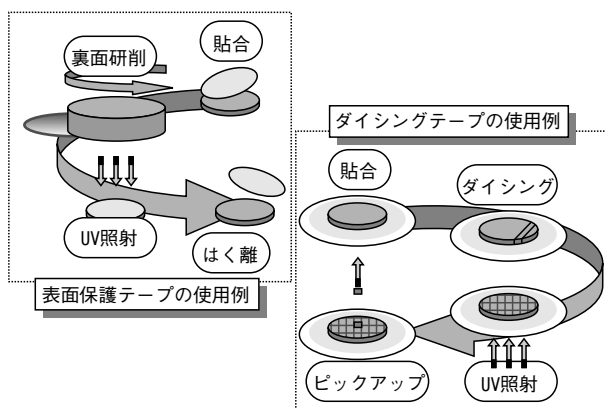


図1 裏面研削工程とダイシング工程
Semiconductor wafer process

* 研究開発本部 環境・エネルギー研究所

る。粘着特性の調整は、使用するアクリル酸エステルの種類や配合量、極性成分の割合、分子量、架橋度を变化させることにより行うことができる。また、半導体用テープの基材フィルムは、ポリオレフィン系材料でなっており、使用される用途により厚さ構成及び、材料構成等を適宜選択し設計を行っている。

1.3 粘着テープの評価法

粘着テープの評価項目は、JIS Z 0237で規定されている粘着力、保持力、タック等が挙げられる。粘着力、タックは、粘着テープの評価法として広く用いられている手法であり、製品のロット間の違いや経時安定性等、品質管理手法として用いる際には有効な手段であるが、設計・開発段階において評価する手法としては、要求特性に合致しない場合もあり、必ずしも有効な手法ではない。また、保持力は、試験片にテープを貼合して試験片及び試験板が鉛直に垂れ下がるようにし、テープの一端に規定時間だけ定荷重を加えた後ずれた距離を測定するか、落下するまでの時間を測定するというものであり、本用途に用いられる特性としては測定精度に問題がある。

また、動的粘弾性測定により粘着テープのレオロジー特性が評価されている。しかし、粘着剤層の評価では厚さ2 mm程度の試料を作成する必要がある、基材フィルムと貼り合わせてテープ化した試料では測定することができない等、実質的に評価が困難な場合がある。また、実際の製品は、粘着剤を基材に塗工したテープ状態であり、テープ上での粘着剤と粘着剤単体との粘弾性挙動は、異なる可能性もある。そのため、製造条件の違いが粘弾性に及ぼす影響の把握、および製造現場における品質管理システムに組み込むことは難しい。

そこで、粘接着技術に関する研究者や粘着テープメーカーは、粘着製品の試験方法について様々な装置・方法を検討し、評価・解析を行っている¹⁾。

1.4 粘着テープの新評価法

1.4.1 粘着層の変位挙動測定

粘着テープを被着体に貼り、その先端にせん断荷重を加え、粘着テープの微小な変位を測定する装置が宮城²⁾により提案されている。そのずれは、レーザ変位計により検出されるので、ミリメートルからナノメートルオーダーの分解能で、粘着テープの保持力を評価できる。装置を図2に示す。測定原理としては、レーザ変位計から照射されたレーザ光がターゲットブロッ

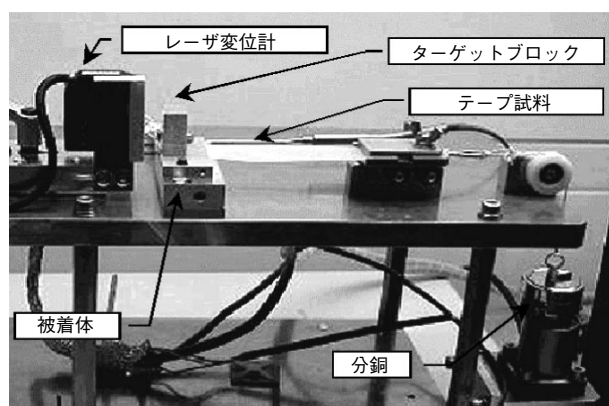


図2 微小変位量測定装置
High-resolution tester for shearing adhesion of PSA

クで反射し、変位計に戻ることで距離を計測する。粘着剤層が変位するとターゲットブロックも変位するため、反射光の集光する角度が変化し、粘着剤層の変位量を測定することができる。半導体用テープは一般に柔軟性に優れたポリオレフィン系樹脂フィルムを基材フィルムとして使用しているが、本方法では被着体に貼合された部分にターゲットブロックを置き、レーザ変位計-ターゲットブロック間の変化量を測定しているため、基材フィルムの変形についてはほぼ無視できる。本装置は、被着体の種類を変更することができ、分銅を変更することにより応力も変更可能である。

なお、変位量を時間とともにプロットすることで経時的に変位量の変化を測定することができるため、静的粘弾性を評価することが可能である。静的粘弾性については、一定の応力を加えた際の変位量の変化を測定するクリープと一定の変位を与えたときの応力の時間変化である応力緩和を測定することが可能である。通常、粘着層の粘弾性は粘着層のみの試料を作成して評価する必要があるのに対し、本装置を用いた評価法では基材フィルムと粘着層が組み合わされた粘着テープ状態で評価できることが最大のメリットである。

よって、本分野の粘着特性を評価する上で十分な測定精度を有しており、また粘着剤の粘弾性特性として定量化することができるため、半導体用粘着テープの評価法として有効であると考えている。

1.4.2 剛体振り子型粘弾性装置

剛体振り子型粘弾性装置の概略を図3に示す。試料上にエッジを静置し、電磁石で振り子を引き寄せ、その後、磁力を解放させることで振り子を自由運動させる。この時、エッジに対し、試料の粘弾性に起因する抵抗が作用し、その結果、振り子の減衰、周期の変化が生じる。減衰率の温度依存性を評価することにより、高分子材料のガラス転移温度T_g、時間依存性を評価することで粘着剤の硬化状態や硬化条件などに関する知見を得ることができる。

なお、この測定手法は、光ファイバのコーティング剤を評価することも検討されており、光ファイバの2層コーティング材層における硬化状態の評価が報告されている³⁾。

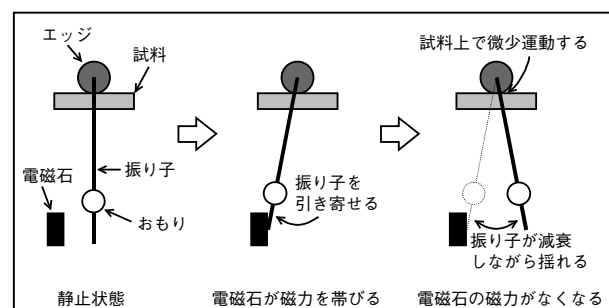


図3 剛体振り子粘弾性測定装置
Schematic diagram of pendulum-type mechanical property measurement

2. 実験

2.1 粘着テープの作成

紫外線硬化性粘着剤として、アクリル系ポリマー（重量平均分子量約40万）とウレタンアクリレート系オリゴマー（重量平均分子量約3000）をブレンドした試料A、アクリル系ポリマー（重量平均分子量約80万）にアクリロイル基を導入した試料B、およびアクリル系ポリマー（重量平均分子量約20万）にアクリロイル基を導入した試料Cを用いた。各々の粘着剤には架橋剤を加えて調整した。Aは密な架橋構造を取るべく架橋剤の配合量を多く添加しているのに対し、B、Cは少量の添加量とした。上記3種類の粘着剤をポリオレフィン系の基材フィルムに塗工して粘着テープを得た。粘着剤の厚さは、各々20 μm とした。

2.2 評価項目

粘着性能の評価としては、粘着力、保持力、及びプローブタックについてJIS Z 0237に準拠して行った。プローブタックは、株式会社レスカ製タッキング試験機TAC-IIにより測定した。

粘着剤の粘弾性は、ずり方式の動的粘弾性装置（Rheometrics製ARES）により、周波数1 Hzの条件で粘弾性の温度依存性を評価した。粘着テープの変位挙動の測定は、せん断荷重として0.98 N、被着体として#280の耐水研磨紙で研磨したSUS304銅、貼合面積は25 mm角とし、23℃の環境下で行った。

また、剛体振り子粘弾性装置によりUV照射時の粘弾性変化を測定した。

3. 結果と考察

3.1 粘着特性

各粘着テープの粘着力、タックを表1に示す。各粘着剤の組成や分子量を反映し、粘着力とタックの値は異なっている。粘着力（UV照射前）は、試料Aが最大である。ウレタンアクリレート系オリゴマーの流動性とベースポリマーの界面化学的特性や力学的特性が、寄与していると考えられる。

タックは、試料Cが最大となり、Aが最小となっている。タックは短時間の接触仕事を示しており、被着体と濡れ性良く密着する性質を示す。粘着剤の架橋度やガラス転移温度、分子量の関与が複雑に影響した結果、このような結果となっていると考えられる。また、保持力についてはいずれの試料でもずれ落下することなく、比較することができなかった。

3.2 動的粘弾性

貯蔵弾性率 G' 及び損失正接 $\tan \delta$ の温度依存性を図4に示す。試料Aは、試料B、Cに比べて G' の値は室温以下の温度領域では高いが、高温領域ではBより低くなっている。また、ガラス転移温度に相当する $\tan \delta$ のピークが5℃近傍に存在している。ガラス転移温度の高いアクリルポリマーを使用しているこ

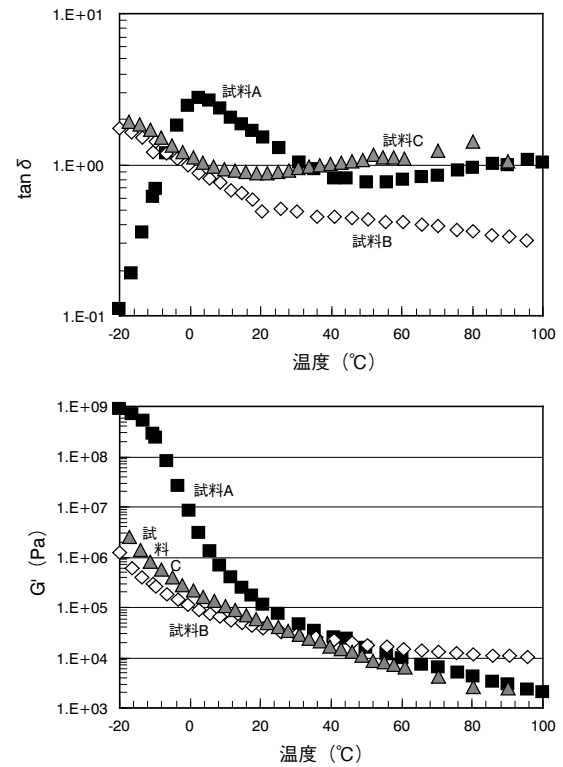


図4 動的粘弾性の温度依存性
Temperature dependences of dynamic mechanical property (G' and $\tan \delta$)

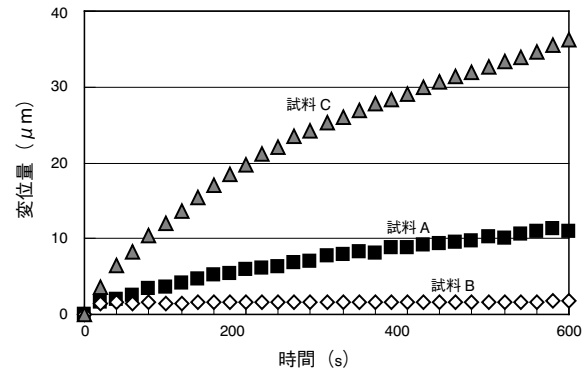


図5 粘着剤層の変位挙動
Behavior of shearing displacement of PSA

と、および低分子量のウレタンアクリレート系オリゴマーをブレンドしているためと推測する。試料B、Cを比較すると、ベースポリマーのガラス転移温度が試料Aと比較して低温にあり、ガラス転移温度領域から室温までの温度範囲で G' の変化は小さい。しかし、それ以上の温度領域では、試料Bは G' の変化は小さくなっており、 $\tan \delta$ の値も小さい。ベースポリマーであるアクリル系ポリマーの分子量の差が、 G' -温度曲線、 $\tan \delta$ -温度曲線の形状の違いに影響していると判断される。

3.3 粘着層の変位挙動

図5に各粘着テープにおける変位の時間変化を示す。試料間において、変位挙動が大きく異なっている。試料Aは架橋構造に寄与しないウレタンアクリレート系オリゴマーが配合されているのに対し、試料B、Cはアクリルポリマーのみの構造で

表1 粘着物性の評価結果
Adhesion and probe tack of UV-tapes

試料		A	B	C
粘着力 (N/25 mm)	UV前	10.3	5.1	6.3
	UV後	0.16	0.26	0.3
プローブタック (kPa)		364	587	674

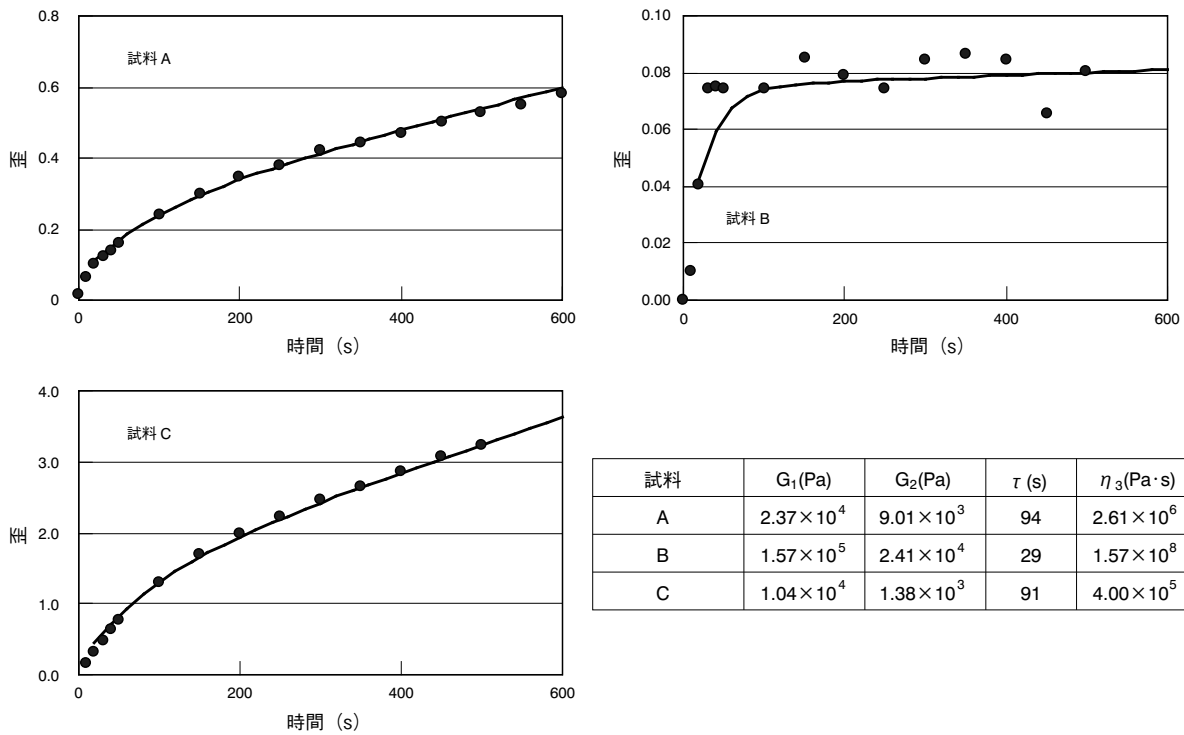


図7 粘着剤層の静的粘弾性解析結果
Static mechanical properties of PSA

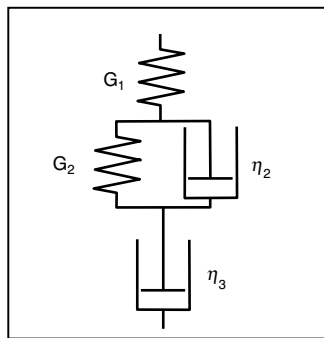


図6 粘弾性モデル
Visco-elastic model of shearing adhesion of PSA

ある。試料BとCは同様の構造であるが、分子量が大きく異なっている。これら構造の差異が変位挙動の違いに影響を及ぼしていると推測される。換言すれば、架橋成分の有無、分子量の違いによるポリマーの絡み合いの差は、変位挙動に影響を及ぼす。その結果、架橋度の低い粘着剤や分子量の低い粘着剤では、せん断変形による変位量が大きかったのであろう。

3.3.1 粘着剤層の静的粘弾性

粘着剤は典型的な粘弾性体であり、ニュートン粘性体と理想弾性体の両方の特性を有すると考えられている。そこで図6のような粘弾性モデルを用いて解析を行った^{4), 5)}。図中の G_1 、 G_2 は弾性率でバネの性質を示し、 η_2 、 η_3 は粘性率で粘性流動する性質を示す。被着体と粘着層の界面でのいずれも想定されるが、本測定法では η_3 との明確な分離ができないため、今回は η_3 を含むものとした。

この粘弾性モデルの歪量 γ と応力 σ の関係は下記式となる。

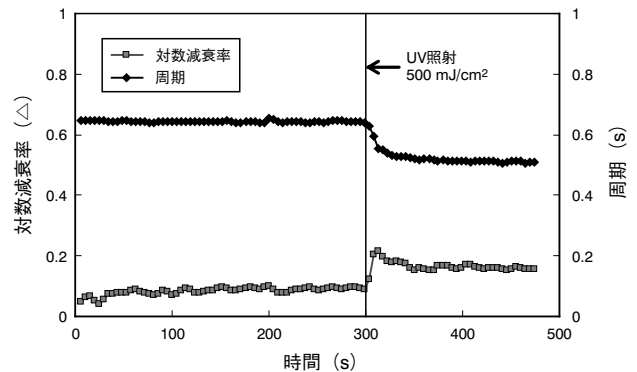


図8 UVテープの硬化挙動
Mechanical properties of UV-tapes before/after UV-irradiation

$$\gamma = \sigma \{ (1/G_1) + [1 - \exp(-t/\tau)] / G_2 + (t/\eta_3) \}$$

ちなみに変形過程の初期段階に最も寄与するパラメータが G_1 であり、時間に比例して変形しつづけるパラメータが η_3 である。ここで τ は緩和時間である。各々の試料の解析結果と実測との一致を図7に示す。実測値と重ね合わせると、3つの試料の変位挙動はかなり異なっているが、いずれも今回用いた粘弾性モデルの変位挙動とよく一致している。今回の試料では、試料Bが全てのパラメータにおいて最も大きく、試料Cが最も小さい値となっている。

3.4 剛体振り子による粘弾性測定

粘着テープ上に振り子を静置し、振り子を自由減衰させながら、両サイドからUVを照射した。図8にUV硬化型粘着テープについて、UV照射過程における粘弾性(対数減衰率、振動周期)の変化を示す。UV照射により、周期は低下し、一定値

に飽和した。これは、架橋構造の形成により、分子運動が拘束されていることを示唆する。一方、対数減衰率は、UV照射により一端増加し、その後低下して一定値に飽和した。これは、硬化過程において急激に架橋構造が形成されると、初期では見かけの分子量が増大し、対数減衰率が上昇、その後架橋構造形成が収束し、振りの減衰が緩和されたためと考えられる。

4. おわりに

半導体用ダイシングテープの新規評価法として、レーザ変位計を用いた粘着層のせん断変形挙動と剛体振り子粘弾性装置を用いたUV硬化過程における粘弾性評価を行った。粘着層のせん断変形挙動は、従来の保持力では評価できない微小な粘着剤層の変形挙動を測定することが可能であり、粘弾性モデルを用いて各パラメータを求めることで定量的に測定を行うことができる。また、剛体振り子粘弾性装置については、粘弾性を対数減衰率、振動周期の変化でとらえることにより、UV照射前後の特性を評価することが可能となった。これら評価法は、試料について何らの前処理を必要とせず、製品形態で評価することが可能で、かつ簡便なものであるため、品質管理手法としても応用できるものと推測する。今後、各種テープについてのデータを蓄積し、実用特性、粘着物性や動的粘弾性との因果関係を明確にしていきたい。

参考文献

- 1) 早川基行, 朱峰承興: 接着, **47**(2003), 367.
- 2) Z. Miyagi and K. Yamamoto: J. Adhesion, **21**(1987), 243.
- 3) 宮城秀文, 加納義久: 第40回日本接着学会年次大会要旨(2002), 63.
- 4) 加納義久: “粘着剤の物性解析と応用実例” 新高分子文庫39, 高分子刊行会(2002)
- 5) 高分子学会編: 高分子科学の基礎, 東京化学同人(1978)