< 綜 説 >

(受理: 平成 16 年 9 月 27 日)

微細領域での接着解析技術の進歩

Progress of Adhesion Analysis in Nano-microscale

河 合 晃^{*}
Akira KAWAI

1. 微細固体および微細領域の付着特性

近年, ナノテクノロジーの進歩に伴い, バイオチップ, マイクロ・ナノマシン, フォトニクスデバイスに代表される微細デバイスの耐久性および構造信頼性が重要視されてきている。特に, これらのデバイスの産業化および実用化段階において, 微細領域での接着性の確保および解析技術の確立が必須となる。一方, ナノスケールにおける凝集固体の基本的性質として, 固体内部の凝集的な効果よりも表面的特性がクローズアップされてくる。また, マクロな視点では無視できた接着要因が, 微細領域では支配的な要因となるケースが見られる。これらの点は, 表面および界面特性が大きく寄与する接着科学において, 微細領域における重要な要因として位置づけられる。例として, 図 1 に線幅 60nm の微細加工用のレジストパターンを示している。パターン表面には 10~30nm サイズの高分子集合体が隆起している様子が確認できる。この表面特性は, レジストパターンと基板界面との接触面積および相互作用などの付着性要因に大きく影響する。これらは, 数 10 ミクロン以上のマクロなサイズのレジストパターンでは注目されなかった点である。

通常の剥離試験では, 図 2 (a) のように, 荷重点と剥離開始点が比較的離れているケースが多い。すなわち, 接着層および被着体の凝集力によって, 剥離荷重が剥離面まで伝達されている。よって, 接着層の変形や凝集破壊等によって, 伝達されるエネルギーは消費されてしまう恐れがある。結果として, 測定された剥離強度と真の付着力とが一致しない問題が生じることとなる。し

かし, 図 2 (b) のように, 付着物がナノスケールサイズになると, 荷重点と剥離面が極めて接近するため, 測定された破壊強度は本質的な剥離特性を示すこととなる。よって, ナノスケールの付着測定では, 接着層の凝集性に依存しない付着測定 (界面の接着強度測定) が可能になる。

前述のように, ナノスケールにおいては, 固体の凝集性よりも表面特性がさらにクローズアップされる。3次元形状においては, 縮細化に伴って固体の表面特性が強調される。実際に, 図 3 に, その一例を示している。1 μ m 径以下の PSL 微粒子の凝集体では, 表面間引力により複数の PSL が付着した場合, 自らの形状変形を生じさせて付着していることがわかる。

河 合 晃

略歴: 昭和58年 長岡技術科学大学
工学研究科修士課程修了
昭和58年 三菱電機株式会社
入社 LSI研究所勤務
平成4年 長岡技術科学大学
大学院博士後期課程入学 (社
会人博士コース) 修了。博士
(工学)
平成5年 長岡技術科学大学
工学部電気系勤務 助教授
平成8年 文部省在外研究員
(短期) サセックス大学 (英国)
現在に至る。

受賞: 進歩賞, 論文賞, ベストボ
スター賞 (日本接着学会)

専門分野: 表面・界面・付着, クリ
ン化技術, プローブ顕微
鏡, ナノ・マイクロシス
テム, リソグラフィ
(微細加工), 光有機反応,
センサーデバイス, デバ
イスプロセス

趣味: 卓球, ゴルフ, 史跡巡り, 芝
刈り

* 長岡技術科学大学電気系
新潟県長岡市上富岡町 1603-1 〒940-2188
Nagaoka University of Technology
1603-1, Kamitomioka-cho, Nagaoka, Niigata 940-2188,
Japan

図1 Resist micro pattern of 60nm width.

図2 Peeling method in micro and nano scale.

PSLのTEM観察

図3 Deformation of PSL particle due to adhesion.

2. 原子間力顕微鏡 (AFM) による微細領域での接着性解析

ナノスケールでの特徴的な接着挙動解析には、AFM

が有効である。筆者は、ナノスケールにおける様々な形状の微細固体の付着性および凝集性を解析している。(DPAT法: Direct peeling with atomic force microscope tip) また、AFMを用いることにより、微細構造内の特定の位置に荷重を加えて、表面硬化層、およびヤング率や内部空孔などを解析することができる。

2.1 相互作用力解析

AFMを用いることにより、付着力の要素となる表面間相互作用力を実測することができる。特に、レナードポテンシャル型の相互作用曲線を局所的に測定することができる。図4は、AFMの微細探針の先端にエポキシ系接着剤をコートし、被着体となる基板表面での相互作用力を測定した結果である。探針先端が基板表面に近づくことにより、約15~20nmから引力が作用し、1~2nm付近で最大引力点を経て斥力領域になり、最終的に基板と接触する。この最大引力点で力は釣り合うため、この状態がエポキシ系接着剤と被着体との付着性との要因となっている。しかし、実際の接着表面では表面凹凸があり、局所的に相互作用距離が異なり、複雑な挙動を示す。

2.2 マニピュレーション

前述のように、100nm以下の微細領域になれば、凝集性の比較的低い高分子固体は、図1のようなナノスケール

(a) Interaction analysis

(b) Interaction curve

図4 Interaction curve between epoxy resin and substrate.

図5 AFM manipulation

図6 Separation of polymer aggregate.

ルの高分子集合体の凝集体を構成する。これらの高分子固体は、AFMを用いたマニピュレーション技術により、個々の高分子集合体に分離することができる。(図5, 図6) によって、高分子集合体は、凝集性を有した微粒子として取り扱うことができる。また、高分子集合体の分離に要した力を実測することで、高分子固体全体の凝集性及び界面の付着性を設計できる。

3. まとめ

微細固体および微細領域での付着現象および解析手法について述べた。特に、ナノスケールにおけるAFMの

有効性を紹介した。今後、様々なナノスケールデバイスの開発および実用化が加速されるが、付着性および凝集性の解析は重要な位置づけとなる。今後の接着分野における基礎的なデータ蓄積が望まれる。

謝辞 本研究は、澤永裕司氏、丹治隆志氏、平野正人氏らのご協力による。この謝意を表する。また、本研究の一部は、日本学術振興会科学 研究費補助金 H13~15 年度基盤研究 (C) 13650373, H16 年度基盤研究 (B) 16360171, および、文部科学省 科学研究費補助金 H16 年度萌芽研究 16656105 の補助を受けて行われた。