

博士論文 要旨

光ピックアップ装置用光デバイス接着技術の  
高強度化及び高信頼化に関する研究

Study on Adhesion Strength and Reliability of  
Optical Device for Optical Pick-up Systems

横浜国立大学大学院 工学府

大関 良雄  
Yoshio Ozeki

2016年3月

光ピックアップ装置は、情報化社会の中でデジタル化の進展とともに、それを支える安価で長期保存を特長とする記録媒体の読取装置として非常に重要な役割を果たしている。本研究では光ピックアップ装置の品質を左右する光デバイス用接着技術に関して、高強度化及び高信頼化を目的とした。

光デバイス用接着技術では、各種光学部品の耐熱性の観点から室温で高精度に位置決めすることが可能な紫外線硬化型接着剤（UV 接着剤）が用いられている。特に高速記録など光デバイスの発熱温度の上昇に伴って、高温環境におかれた場合でも高い位置精度を実現するために高耐熱な UV 接着剤が用いられている。しかしながら、室温の弾性率が高く、高いガラス転移温度  $T_g$  を特徴とする UV 接着剤は接着界面への応力集中により、十分な強度が得られない傾向がある。この接着強度を向上させる一つの方法として、被着体表面の形状効果に着目した。サンドペーパーやブラスト処理により被着体表面に凹凸を設け、高強度化する等の報告事例は多数あるが、一方で、信頼性まで含めた報告事例はほとんど見当たらない。そこでまず、被着体表面の形状として、平坦な場合と鋸歯状の 2 種類を用意し、初期及び信頼性試験（60℃90%RH）後の接着強度の比較検討を行い、接着強度に及ぼす被着体表面形状の影響について明らかにした。次に、得られた信頼性試験後の強度劣化メカニズムに基づき、一つは接着材料の観点から、UV 接着剤の架橋密度と接着信頼性の関係を解明し、強度劣化を抑制するための応力分散指針を明確にした。もう一つは被着体の観点から、被着体の表面自由エネルギーと接着信頼性の関係を解明することで、接着界面の強度向上による高信頼化を達成できることを明らかにした。以上の検討により、光デバイス用接着剤として高耐熱な UV 接着剤を用いた場合でも信頼性も含めて高い接着強度を実現することができると考えられる。

本論文は上記内容について 5 章に分けて詳細を論じている。各章の概要

を以下に示す。

## 第 1 章 序論

序論では本研究の対象である光ピックアップ装置の役割及び製造プロセスやその変遷について述べ、本研究の背景と目的を明らかにした。光ピックアップ装置は、光を集光して光ディスク上の信号を読み出すために、光学特性に最も影響を及ぼす光デバイス用接着技術の高い位置精度とその安定性が要求される。そのような中で、音楽用 CD (Compact Disc) から、動画再生用 DVD (Digital Versatile Disc) , ハイビジョン放送用 BD (Blu-ray Disc) への大容量化に伴い、光スポットサイズの微小化による光デバイスの位置精度の向上が必要となった。また、再生のみから書き込み記録及びその高速化など光デバイスの発熱による温度特性や、デスクトップ PC (Personal Computer) からノート PC など薄型化構造への対応として、光デバイス接着部では今まで以上の高精度化及び高耐熱化が求められた。特に、発熱する光デバイスに対応するためには、高温でも高い位置精度を維持するための高耐熱接着剤を用いる必要があり、その高強度化が重要となった。そこで、本研究では、光デバイス用の接着技術を対象とし、高強度で信頼性の高い接着構造及び接着材料、被着体の表面状態の開発指針を得ることを目的とした。

## 第 2 章 表面粗化による接着高強度化技術

第 2 章では被着体表面の形状として、平坦な場合と鋸歯状の 2 種類を用意し、初期及び信頼性試験 (60°C 90%RH) 後の接着強度の比較検討を行い、接着強度に及ぼす被着体表面形状の影響について検証した。本検討で用いた被着体は、高い生産性を特長とするダイカスト用の材料 Zn、UV 接着剤は

短時間硬化を特長するアクリル系，その材料物性は 25℃の弾性率が 4.7GPa,  $T_g$  が 118℃，架橋密度が  $40.2 \times 10^{-3} \text{mol/cm}^3$  の UV 接着剤 A を用いた。

初期の接着強度は，被着体表面の形状を平坦から鋸歯状とすることで大幅に向上し，その破壊モードは界面破壊主体から界面破壊と凝集破壊の混在モードへと移行する。一方，信頼性試験後の接着強度は鋸歯状の影響により強度劣化の速度が加速して大幅に低下し，破壊モードは 60℃90%RH 環境下の放置時間とともに界面破壊のみへと移行することが分かった。この強度低下の原因は，接着剤の吸湿膨潤による力が鋸歯の形状により引き剥がすように作用したためと考えられる。従って，初期の接着強度の向上と高信頼化を実現するためには，60℃90%RH 環境下で引き剥がすように作用する応力に対して，接着界面に生じる応力の分散や接着界面の高強度化が重要であることを明らかにした。

### 題 3 章 接着界面の応力分散技術

第 3 章では，第 2 章で明らかになった接着強度の劣化メカニズムに基づき，接着材料の観点から，初期の大幅な強度向上と信頼性試験後の強度劣化の抑制を目的に，UV 接着剤の架橋密度と接着信頼性の関係について検証した。本検討で用いた UV 接着剤は，25℃の弾性率が 4.6GPa,  $T_g$  が 140℃，架橋密度が  $14.8 \times 10^{-3} \text{mol/cm}^3$  の UV 接着剤 B, 25℃の弾性率が 3.6GPa,  $T_g$  が 102℃，架橋密度が  $9.9 \times 10^{-3} \text{mol/cm}^3$  の UV 接着剤 C と，第 2 章で検討した UV 接着剤に比べて架橋密度を低減した接着剤を用いた。

初期の接着強度は，架橋密度の異なる UV 接着剤を用いた場合でも，被着体表面の形状を平坦から鋸歯状とすることで，クラックの進展経路の一部を凝集部へと移行して大幅に向上する。接着信頼性は，被着体の表面形状を鋸歯状とした場合，初期の接着強度に対する 60℃90%RH504 時間後の接

着強度保持率が 11%の UV 接着剤 A に対して、架橋密度を大幅に低減した UV 接着剤 B が 63%、さらに架橋密度を低減した UV 接着剤 C が 99%と、高耐熱接着剤の架橋密度の低減に伴って、初期の大幅な強度向上と信頼性試験後の強度劣化を抑制できることが分かった。これは、60℃90%RH 環境下で各 UV 接着剤が吸湿膨潤することで生じる応力に対して、接着信頼性は架橋密度の影響を最も受け易いためと考えられる。UV 接着剤の架橋密度が低い場合には、接着末端が直鎖状のような各々の分子鎖が独立した構造をとり易く、自ら変形して応力分散できるなど変形に対する自由度が高い。このため、クラックの進展を抑制し、高い接着強度を保持できたものと考えられる。一方で、架橋密度が高い場合には、接着末端がネットワーク型のような各々の分子鎖を拘束した構造をとり易く、分子鎖の個々の変形を抑制するなど変形に対する自由度が低い。このため、接着末端に応力が直接生じてクラックが進展し、接着強度が低下したものと考えられる。従って、高い接着強度で高信頼化のためには、被着体表面の形状を鋸歯状とし、かつ架橋密度を  $9 \times 10^{-3} \text{mol/cm}^3$  以下と低減した UV 接着剤を用いることで実現できることを明らかにした。

#### 第 4 章 接着界面の高強度化技術

第 4 章では、第 3 章と同様に第 2 章で明らかになった接着強度の劣化メカニズムに基づき、被着体の観点から、初期の大幅な強度向上と高信頼化を目的に、被着体の表面自由エネルギーと接着信頼性の関係について検証した。本検討で用いた被着体は、Kaelble-Uy の方法により評価した表面自由エネルギー  $32 \text{mJ/m}^2$  の Zn と表面自由エネルギー  $50 \text{mJ/m}^2$  の Al の 2 種類を用いた。

初期の接着強度は、被着体表面の形状が平坦な場合、表面自由エネルギー

一の極性成分の増加に伴って界面強度が向上し、また、被着体表面の形状を平坦から鋸歯状とすることで、表面自由エネルギーの異なる被着体を用いた場合でもクラックの進展経路の一部を凝集部へと移行して大幅に向上する。接着信頼性は、被着体の表面形状を鋸歯状とし、かつ表面自由エネルギーの高い A1 を用いることで、凝集破壊と界面破壊の混在した破壊モードで大幅に向上した初期の接着強度に対して、60℃90%RH 環境下でも凝集破壊主体のモードへと移行しながらさらに高強度化できることが分かった。これは、被着体の表面自由エネルギーの向上、特にアクリル系 UV 接着剤と親和性の高い極性成分の増加により、高い接着性を特長とする水素結合を主体とした接着界面を形成する。これにより、接着界面の強度劣化を抑止することができる。加えて、60℃90%RH 環境下では室温硬化時に残留した内部応力を徐々に開放することで、接着界面の強度が向上する。さらに、被着体表面の形状が鋸歯状の場合、水素結合を主体とした高い接着性による強度劣化の抑止と、接着界面に生じる垂直応力の低下により、破壊モードを凝集破壊主体のモードへと移行しながら接着強度が大幅に向上したものと考えられる。従って、高い接着強度で高信頼化のためには、被着体表面の形状を鋸歯状とし、かつ表面自由エネルギーを高めた被着体を用いることで実現できることを明らかにした。

## 第 5 章 総括

第 5 章では、第 1 章から第 4 章までの結果を整理し、本研究を総括した。