

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	レーザ用光部品の精密接着技術に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	高橋明理
Author(English)	Akari Takahashi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12524号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:佐藤 千明,大竹 尚登,水谷 義弘,山崎 敬久,赤坂 大樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12524号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	高橋明理		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	佐藤千明	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)		

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

レーザー製品では、レンズやミラーなどの光部品を最適な位置に調整し、筐体に接着剤で固定することで、光学系を構成する。接着部の膨張や収縮は、光部品の位置ずれに引き起こし、光学特性を低下させる。よって、優れた光学特性を実現するためには、接着剤の変形とそれを引き起こす物性の理解が非常に重要となる。このような背景を踏まえ、本研究では、カチオン重合 UV・加熱併用硬化型エポキシ接着剤を対象に、硬化過程における接着部の変形を定量的に予測する手法の確立に取り組んだ。まず、接着剤の粘弾性や硬化収縮、熱膨張、吸湿膨張など、変形に関わる諸物性を定量評価し、硬化反応モデルに基づき、定式化した。さらに、定式化した物性パラメータと有限要素解析を用いて、任意の接着構造、硬化条件において、接着部の硬化による変形に伴う光部品の変位を解析する手法を確立した。また、解析と同一の条件で実験を実施し、解析結果と比較することで、材料モデリングと解析手法の妥当性を検証した。本論文は「レーザー用光部品の精密接着技術に関する研究」と題し、6 章で構成されている。以下に各章の概要を述べる。

第 1 章「緒論」では、レーザー製品と周辺部品における接着技術の重要性について述べた。レーザーダイオードモジュールや光ピックアップ、光ファイバなどを例に、その接着構造と課題を示した。精密接着は、これらの製品にとって、最も大きな課題の 1 つである。また、現状の接着部の構造設計ならびに製造プロセス設計手法は、実験や試作の積み重ねがベースとなっており、長い時間を要する。上記の解析手法が確立できれば、実験や試作の回数を減らすことができ、製品開発期間の短縮化が期待できる。

第 2 章「UV 硬化型接着剤の評価の基本技術」では、まず、光部品の接着工程の具体例を示しながら、設計事項について述べた。また、UV 硬化型接着剤の種類とそれぞれの硬化反応メカニズム、硬化度の評価方法ならびに硬化反応モデルについて示した。さらに、高分子材料の粘弾性や膨張・収縮の評価において、先行研究で用いられる測定方法について記載した。これらを基に、本研究で対象とするカチオン重合 UV・加熱併用硬化型エポキシ接着剤の特徴を考慮し、評価方法を決定し、これらの測定装置や測定条件について詳細を示した。

第 3 章「UV 硬化型接着剤の物性評価とモデル化」では、第 2 章で述べた方法により、硬化前、硬化過程、および硬化後の接着剤の諸物性を定量評価し、モデル化した内容を示した。まず、対象とする接着剤の材料構成と硬化前のレオロジー特性について述べた。次に、硬化過程の物性を扱うために、接着剤の硬化度を測定し、硬化反応モデルに基づいたデータフィッティングにより定式化した。硬化反応は、UV 照射中の反応、暗反応および加熱による反応の 3 段階をそれぞれ n 次式モデルで定式化し、それらの重ね合わせを全体の硬化度として扱った。さらに、硬化過程の粘弾性、硬化収縮、熱膨張率および吸湿膨張を評価し、これらを硬化度の関数として定式化した。これにより、任意の硬化条件に対して、硬化度のみを測定すれば、接着部の変形を算出できるようになる。最後に、硬化後の接着剤について、時間-温度換算則を用いて粘弾性マスターカーブを作成し、長時間スケールの緩和弾性率を定式化した結果を示した。

第 4 章「UV 硬化型接着剤の硬化過程における光部品の変位の解析」では、有限要素法による光部品の変位の解析について述べた。ガラスの光部品と銅の基板の接着構造を対象に、第 3 章でモデル化した接着剤の物性を、有限要素法ソフトに入力し、接着部の硬化による変形に伴う光部品の変位を計算した。解析結果より、変位の大部分は、UV 照射中ではなく、暗反応のステージで、1 時間以上かけて発生することが明らかになった。また、接着部に照射される UV 照射強度が不均一な場合、接着層の厚み方向だけでなく、接着面内の方向にも光部品の変位が発生することが分かった。さらに、接着部の形状や加熱条件が変位に与える影響についても調査した。

第 5 章「UV 硬化型接着剤の硬化過程における光学部品の変位の測定」では、第 4 章の解析と同一条件の構造と硬化条件でガラスの光部品を銅の基板に接着し、変位を測定した結果について述べた。測定には、白色干渉顕微鏡を使用した。光部品の表面を連続的に撮影し、その画像を解析することで、XYZ 方向の変位を算出した。実験と解析の結果は、定性的に同様の傾向を示した。よって、本研究における材料モデリングと解析の手法に一定の妥当性があるといえる。一方で、特に Z 方向の変位は解析の方が実験より小さく、結果に乖離があった。乖離の原因を、物性のモデリングの精度の不足、解析条件と実験条件の差異、残留応力の影響に分けて考察し、改善に向けた課題を挙げた。

第 6 章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題、研究や工業への寄与に関する展望を述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	高橋明理	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	佐藤千明
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In the manufacture of optical products, optical components such as lenses and mirrors are adjusted to the optimum position and fixed to the housing with adhesives to form the optical system. Expansion or shrinkage of adhesive parts causes misalignment of optical components and degrades optical characteristics. To achieve high positioning accuracy, it is important to understand the curing process of adhesives. In this study, analysis and experiment of displacement of optical components caused by deformation of the adhesive during the curing process were conducted for an ultraviolet (UV) ray-curable cationic photopolymerized epoxy adhesive.

At first, the curing extent of the adhesive was formulated based on the curing reaction model. Curing extent can be expressed in three stages: initial reaction during UV irradiation, dark reaction, and reaction by heating. In addition, changes in chemical shrinkage, thermal expansion, and viscoelasticity with respect to curing extent were formulated. The equations for the properties of the adhesive were input into a finite element method (FEM) simulator to analyze the position of the optical component. Experiments were also conducted under the same conditions as in the simulation. The optical component was continuously imaged with a coherence scanning interferometer during curing of adhesive, and its displacement was quantified from images.

The FEM simulation and the experiment result showed the same trend. That means the modeling and simulation method of this study is effective for optical products. This approach is expected to shorten product development time and improve product performance and reliability. It was found that Most of the displacement of the optical component occurred over several hours in the dark reaction stage, not during UV irradiation from the simulation and the experiment. In addition, when the UV irradiation intensity irradiated to the bonding area is non-uniform, the curing shrinkage causes not only displacement of the adhesive layer in the thickness direction, but also displacement in the direction within the bonding surface.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).