

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Precise quantitative analysis of bending behavior in flexible polymer films
著者(和文)	田口 諒
Author(English)	Ryo Taguchi
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11979号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:穴戸 厚,荒井 創,芹澤 武,大塚 英幸,中嶋 健,久保 祥一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11979号, Conferred date:2021/3/26, 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	応用化学 エネルギー	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	田口 諒		指導教員 (主)： 宍戸 厚 Academic Supervisor(main)
			指導教員 (副)： 久保 祥一 Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は全 5 章で構成されており、独自の湾曲表面ひずみ定量解析手法である「表面ラベルグレーティング法」を用いた高分子フィルムの湾曲挙動の解明を目的としている。湾曲形状解析により、疲労や破壊の前駆現象であるヒステリシスと表面ひずみの関係を明らかにした。また、表面ひずみの定量解析を通して、機能性フィルムが湾曲によって破壊する破壊限界を正確に決定し、表面ひずみを抑制した高分子フィルム基板を設計することで、機能性フィルムおよびフレキシブル有機トランジスタの屈曲耐久性を向上することに成功した。さらに、湾曲形状および表面ひずみの同時解析により、高分子フィルムの繰返し湾曲に伴う疲労破壊現象を定量解析することに成功した。 第 1 章「General Introduction」では、フレキシブルエレクトロニクスや材料の湾曲ひずみ解析手法を概説し、本研究の意義および目的を述べた。 第 2 章「Measurement of Bending Curvature Enables Evaluating Bending Hysteresis of Flexible Polymer Films」では、フィルムの湾曲中央部の曲率半径を定量解析できる力学解析装置を開発し、二軸延伸 Polyethylene naphthalate (PEN) フィルムの湾曲挙動について検討した。PEN フィルムの湾曲過程は、材料力学で使用される大変形湾曲の理論式と一致し、本解析装置を用いて正確に曲率半径を測定できることがわかった。また、PEN フィルムは大きな湾曲ではたわみが残留するヒステリシスが現れることが明らかになり、高分子特有の粘弾性などが考慮されていない材料力学では説明できないことがわかった。詳細な湾曲解析を行ったところ、湾曲ヒステリシスが生じる曲率半径を正確に決定することに成功した。また、湾曲に伴う PEN フィルムの内部応力を理論計算することにより、ヒステリシスが現れる曲率半径は表面ひずみによって決まることが明らかとなった。 第 3 章「Quantitative Analysis of Surface Bending Strains by Surface-Labeled Grating Method Prevents Fracture of Materials and Devices」では、表面ラベルグレーティング法の信頼性や測定精度について検討し、表面ひずみと破壊について検討した。第二章で設計した力学解析装置を光学系に組み込み、表面ひずみの高精度定量解析に成功した。表面ひずみと同時測定した曲率半径から理論表面ひずみを算出すると、表面ラベルグレーティング法の測定値と精度良く一致し、本手法により高分子フィルムの表面ひずみを正確かつ高精度に測定できることがわかった。さらに、高分子フィルム基板上にハードコート層を積層したハードコートフィルムの湾曲破壊について検討し、ハードコート層の破壊は高分子フィルム基板の表面ひずみにより決定されることを明らかにした。加えて、破壊限界よりも小さい表面ひずみを示す三層フィルムを基板として用いることにより、ハードコートフィルムの湾曲破壊を抑制することに成功した。また、三層フィルム基板を用いたフレキシブル有機トランジスタでは、既存の高分子フィルム基板よりも 60%以上も湾曲に伴う性能劣化を抑制できることを示した。 第 4 章「Surface-Labeled Grating Method Quantifies Bending Fatigue of Flexible Polymer Film」では、曲率半径および表面ひずみの同時定量解析を行い、高分子フィルムの湾曲疲労について議論した。高分子フィルムは、繰返し湾曲回数の増加に伴う曲率半径および表面ひずみが増加することがわかった。本解析手法を用いて高分子フィルムの湾曲疲労破壊を定量評価できることが明らかとなった。 第 5 章「Summary」では、本論文の要点を総括して述べた。本論文では、曲率半径および表面ひずみの測定を行い、高分子フィルムの湾曲挙動について検討した。開発した力学解析装置を用いて、様々な高分子フィルムの湾曲挙動を正確かつ高精度に定量解析することに成功した。本定量解析により、高分子フィルムのヒステリシス、破壊、疲労が生じる表面ひずみを明らかにした。原理的に様々な材料の表面ひずみの定量解析が可能であることから、本解析手法は力学耐久性の高い新たな機能性物質の設計や開発に重要な役割を担うと期待できる。
--

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).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 エネルギー	系 コース	申請学位(専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	田口 諒		指導教員(主)： Academic Supervisor(main)	宍戸 厚
			指導教員(副)： Academic Supervisor(sub)	久保 祥一

要旨(英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The purpose of this study is the development of new practical analysis method to evaluate bending behaviors of flexible polymer films. This would be key to developing mechanically durable materials and electronic devices. Herein, the author proposed an analytical method that simultaneously measures bending curvatures and surface bending strains in various polymer films, achieving the quantitative analyses of bending hysteresis, fracture limits, and bending fatigue.

In Chapter 2, the author demonstrated that the real-time measurement of bending curvature helps the understanding of bending behaviors in flexible polymer films. The mechanical analytical system that accurately and precisely measures curvatures was developed. Through measuring curvatures, bending hysteresis, arising from viscoelastic properties of polymer films, was successfully evaluated. It was revealed that the hysteresis was caused by the surface bending strain in a nonlinear region in terms of stress based on theoretical calculations.

In Chapter 3, the author demonstrated that the surface-labeled grating method is the powerful tool in measuring surface bending strains with multiple benefits: high resolution, precision, and a wide range of measurable materials, which is superior to the other available methods. The reliability of the measurements was confirmed using the modified Elastica theory. This method successfully determined the fracture limit that shows the surface bending strain at which cracking of hard coatings on the surface of PET films occurs. As a proof-of-concept, the author showed that the multi-layering of two PET layers with a soft PDMS layer between them reduced the surface bending strain by 50% compared with that of a single-layer film with the same thickness. This triple-layer film successfully suppressed the cracking of the hard coating and the breakdown of the OTFT.

In Chapter 4, the author discussed the bending fatigue of polymer films through simultaneous measurements of curvatures and surface bending strains. By the bending analysis method proposed in this study, the author successfully evaluated the bending fatigue.

In Chapter 5, the author summarized the obtained results. Using the surface-labeled grating method, the author investigated bending behaviors of various polymer films, showing that the method enables us to develop the mechanically durable materials and electronic devices.

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).