



車両等に装備するためのポリカーボネート窓の 表面改質に関する研究

新中 新二* 井上 成美** 大越 昌幸** 野尻 秀智**
植田 博臣*** 岩井 和史*** 中村 先男***

Study on Surface Reforming of Polycarbonate Windows for Vehicles

Shinji SHINNAKA* Narumi INOUE** Masayuki OKOSHI** Hidetoshi NOJIRI**
Hiroomi UEDA*** Kazufumi IWAI*** Sakio NAKAMURA***

1. プロジェクト研究の概要

本プロジェクトでは、車両のガラス窓を軽量化すると同時に耐衝撃性を上げることが可能なポリカーボネートへの置き換えを可能とする技術を構築するため、その表面をガラス化することにより、ガラス並みの表面硬度を有する車両用軽量窓を開発する事を目的としている。

前回、ポリカーボネート表面に、プライマーを介し液体シリコンを塗布して Xe エキシマランプを照射することにより得られた試料は、テーパー摩耗試験においてガラスに匹敵する耐摩耗性を示すことを明らかにし報告した¹⁾。今回は、改質表面の XPS (X線電子分光法) を用いた組成分析とナノインデンテーション法を用いた表面硬度の計測結果をもとにデータ解析を行って、耐摩耗性が向上した要因について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

図 1 に示す様に、ポリカーボネート基板の上に、厚さ 1~2 μm のアクリルプライマーをコーティングした後、シリコンハードコートの膜厚を 5~8 μm の範囲にコーティングした。その後、窒素雰囲気中で波長 172 nm の

Xe エキシマランプを 1425mJ/cm² 照射し、シリコンハードコート層の表面改質を行った。

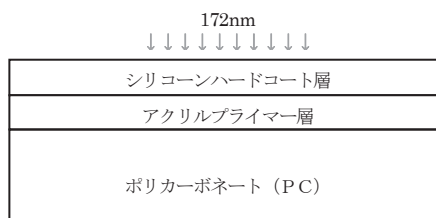


図 1 層構造

表面改質層の Si 結合状態について、XPS (X線電子分光法) を用いて約 1 μm の深さまで計測し、化学組成の変化状態を確認した。XPS 分析装置は、図 2 に示す本校工学研究所の日本電子株式会社製 JPS-9010MC を用いた。計測方法は、Ar⁺ガン (1.0 kV, 23-24 mA) を用いて 10 秒間エッチングした後、X線源 (Mg, 10 kV, 10 mA) を用いて計測することを 20 回繰り返した。

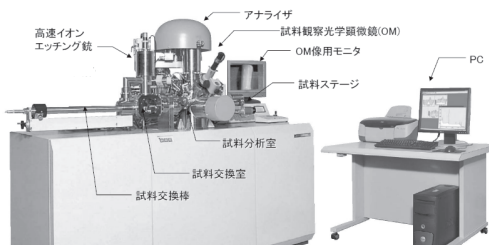
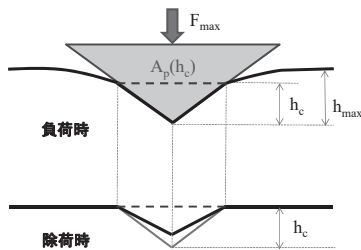


図 2 XPS 分析装置⁴⁾

*教授 電気電子情報工学科
Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering
**客員教授 工学研究所
Guest Professor, Research Institute for Engineering
***客員研究員 工学研究所
Guest Researcher, Research Institute for Engineering

次に、株式会社エリオニクス社製 ENT-1100a のナノインデンター（超微小押し込み硬さ試験機）を用いたナノインデンテーション法により、表面改質層から深さ方向への硬度変化を計測した。ナノインデンターは、試料への負荷荷重を徐々に増加させ、最大負荷荷重 F_{max} に到達後、徐々に減少させていったときの荷重と押し込み深さを測定し、最大押し込み深さ h_{max} に対する押し込み硬さ H_{IT} を求めた。ここで、 $H_{IT} = F_{max} / A_p(h_c)$ であり、 $A_p(h_c)$ は投影接触面積（図3参照）を表す³⁾。



3. 表面改質層の化学組成と硬さ

図4は、改質前の試料と172nmの光を照射した試料に対し、XPSを用いてアルゴンイオン (Ar^+) エッチングし、表面から深さ方向に $Si2p$ の結合エネルギー波形を計測した。このデータを元に、 $Si^{4+}(SiO_2)$ 、 $Si^{3+}(Si_2O_3)$ 、 $Si-C(Si-R)$ の3つの成分を仮定して波形分離処理し、光改質していない試料を基準として各成分組成比の変化を求めた。最表面から300nm付近までは、改質前の試料よりも Si^{4+} が多く、 Si^{3+} が少ない。よってこの領域の組成は SiO_2 が支配的であるとえられる²⁾。

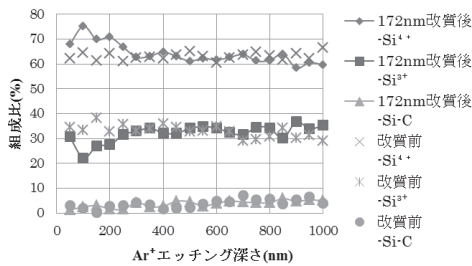


図4 Si2p 成分組成比

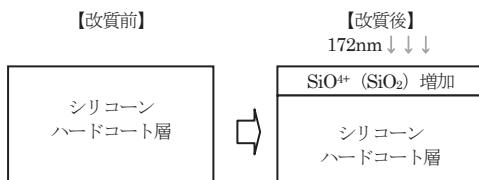


図5 シリコンハードコートと改質層の構造

つまり、図5に示す様なシリコンハードコート層の最表面に $SiO_4^+(SiO_2)$ の割合が増加した光改質層が形成されたことを示している。

図6にナノインデンターで計測した結果を示す。最表面近辺の最大押し込み深さ100nm付近では、改質後の試料は、改質前の試料より約1.5倍の押し込み硬さ H_{IT} になっていることがわかる。これは、XPSの計測結果が示す様に、 SiO_2 の割合が増加して表面が硬化化したことが原因と考えられ、前回テーパー摩耗試験に於いて高い耐摩耗性が発現できたことを支持している。

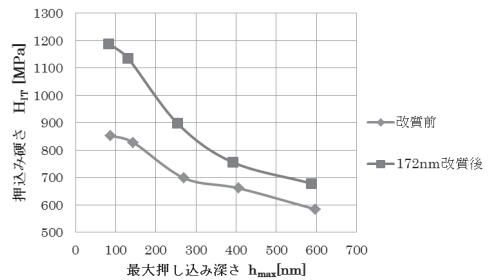


図6 ナノインデンター計測結果

4. まとめ

XPS測定により、Xeエキシマランプを照射した試料表面には SiO_2 層が形成されていることを見出した。また、ナノインデンター測定により、改質前の試料に比べて H_{IT} (押し込み硬さ) の値は約1.5倍になっていることが判明し、前報のテーパー摩耗性の向上の要因を明らかにすることができた。今後、照射波長依存性等について更なる検討を行う。今年度の成果として、成形加工学会で発表（参考文献(2),(3)）することができた。

謝辞

XPS測定データ取得および解析において、工学研究所の萩原健司博士のご指導とご協力を頂きました。ここに深く感謝いたします。また、本研究はJSPS科研費16K06754の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 新中新二 他, 神奈川大学工学研究所所報, No.38 (2015), P.79
- (2) 中村先男 他, 成形加工シンポジウム'15, (2015), P.49.
- (3) 中村先男 他, 成形加工'16, (2016), P.241.
- (4) JEOL, New Technical Information for JEOL