

# 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 (3)

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 modification of Polycarbonate Windows for Vehicles

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

### 1. 緒言

地球温暖化防止のため、CO<sub>2</sub>を中心とする温室効果ガス削減の取り組みが続けられてきた。CO<sub>2</sub>全排出量の20%が自動車に代表される車両からのものであり、燃費向上や車体の軽量化が切実なものとなっている。ハイブリッド電気自動車 (HEV) やプラグインハイブリッド (PHV)、クリーンディーゼルなど、燃費向上や環境負荷の低減に寄与する技術が開発され実用に供されてきたが、ここにきて欧州を代表する国々が2040年までにガソリン車を撤廃し、無排出車両 (ZEV) の販売を一定量義務付ける方針を打ち出した。これにより従来の燃費規制の枠を大幅に超えたハードルが課せられることになった。我々は工学研究所のプロジェクトとして、車両窓の軽量化に取り組んできた<sup>1)</sup>。無機ガラスをポリカーボネート樹脂 (PC) に置き換えることを目的とし、樹脂の傷付きを防ぐための方法として、PC上に塗布したシリコン樹脂に光を照射し SiO<sub>2</sub>に改質する技術を検討した<sup>2-4)</sup>。さらに、SiO<sub>2</sub>層に生ずるクラック等、本プロセス固有の問題解決にも取り組んできたが<sup>5)</sup>、シリコン樹脂の種類や光源の違いによる物性の差異については、これまで十分な知見がなかった。本報告では、シリコン樹脂の光学物性および、光源波長の SiO<sub>2</sub>改質層への影響について、新たに得られた知見を述べる。

### 2. 実験方法

#### 2.1 シリコン樹脂の分光透過率測定

厚さ1mm、大きき5×5cm<sup>2</sup>の合成石英基板 (東ソー, ES材) に、2種類のシリコン樹脂を塗布した。シリコン樹脂 A は UV 吸収剤を含まない組成のもので、シリコン樹脂 B は UV 吸収剤を含み、車両用途のハードコートとして市販されているものである。シリコン樹脂が所定の厚みになるよう、塗布条件を調整した。次いで、分光光度計 (日本分光, VUV-2000) により、波長150~300nm における分光透過率を測定した。このとき、石英基板の透過率を差し引き、シリコン樹脂膜のみの分光透過率を求めた。

#### 2.2 シリコン樹脂への真空紫外光の照射

厚さ3mmの透明 PC 基板 (10×10cm<sup>2</sup>) に、プライマー層とシリコン樹脂の組み合わせを変えた試料1および2を作製した。各層の厚さはメーカーの推奨範囲とし、表1に示すように設定した。次いで、これらの試料に対し、波長157nmのF<sub>2</sub>レーザー、または波長172nmのXeエキシマランプを照射した。照射条件を表2に示す。照射中は、試料表面付近が脱酸素雰囲気になるよう窒素ガスを導入した。試料はXYステージ上に設置し、ステージを一定速度で動かすことにより試料表面全体が所望の積算エネルギーで照射されるようにした。照射後の試料について、SiO<sub>2</sub>改質層の厚さ測定およびテーパー摩耗試験 (ASTM D1044) を実施した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 シリコン樹脂の分光透過率

図1に、真空紫外領域における分光透過率の測定結果を示す。シリコン樹脂 A は200nm以下の波長においても透過率は高く、160nm付近で透過率はゼロになった。これに対し、シリコン樹脂 B は190nmで透過率がほぼゼロになった。シリコン樹脂 B には、波長290nmの吸収が観察されたことから、フェニル基を基本構造とした UV 吸収剤が添加されていると推定される。これに対し、合成石英基板の吸収端はさらに短波長側に位置し、SiO<sub>2</sub>改質層も同様の特性を有するものと考えられる。以上のことから、F<sub>2</sub>レーザーの157nmにおいては、シリコン樹脂 A、Bともに透過率がゼロであ

表1 プライマー, シリコン樹脂の膜厚

試料の種類	膜種	膜厚 (μm)
試料 1	プライマーA	4
	シリコン樹脂 A	4
試料 2	プライマーB	3
	シリコン樹脂 B	7

表2 F2レーザーと, Xeエキシマランプの照射条件

項目	F <sub>2</sub> レーザー	Xeエキシマランプ
波長	157 nm	172 nm
光子エネルギー	14 mJ/cm <sup>2</sup> /pulse	70 mJ/cm <sup>2</sup> /s
パルス周波数	10 Hz	連続
積算エネルギー	1.5~9 J/cm <sup>2</sup>	1.5~5.6 J/cm <sup>2</sup>

\*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

るが、エキシマランプの172nmにおいては、シリコン樹脂 A について、50%以上の透過率を有する。すなわち、172nmの光は、シリコン樹脂 A を透過し下地のプライマー層に到達する。プライマー層はアクリル樹脂であり、ここに光が到達すると構造の解離が起こる。特に、シリコン樹脂とアクリル樹脂の界面を破壊すると、両者の密着性が著しく低下することとなる。以上のことから、シリコン樹脂 B は、F<sub>2</sub>レーザー、エキシマランプ共に SiO<sub>2</sub>形成のための改質光源として使用できるが、シリコン樹脂 A の改質は、F<sub>2</sub>レーザーのみに限定される。シリコン樹脂 A に、酸化亜鉛 (ZnO) ナノ粒子を、2%または5%添加した場合の特性も図1中に示した。ZnOの添加濃度の増加に従い、吸収端が長波長側に移動する様子が認められた。このように、172nmを光源波長とするためには、UV吸収剤を添加するのが、密着性保持の観点で有効であると考えられる。以上のように、吸収端や光源波長を適切に選ぶことにより、図2に示すように SiO<sub>2</sub>改質層を傾斜組成化することができる

3.2 レーザーとエキシマランプによる SiO<sub>2</sub>改質層の物性比較

図3は、投入積算エネルギーに対する SiO<sub>2</sub>改質層の厚みを示したグラフである。F<sub>2</sub>レーザーと Xe エキシマランプの両プロットは、ほぼ同じ曲線上に描かれており、両者に差異はないものと考えられる。図4は、1000cycleにおけるテーバー摩耗試験の結果である。投入エネルギーの増加とともに、デルタヘイズ (ΔH) の値は小さくなっている。ΔHが小さいほど、優れた耐摩耗性を示す。自動車の運転視界に関わる窓に使用する場合は、ΔH<sub>1000</sub> ≤ 2%が求められるが、レーザー、ランプともに2J/cm<sup>2</sup>以上の照射により、達成できる数値である。従って、レーザーとランプによる SiO<sub>2</sub>改質層の物性

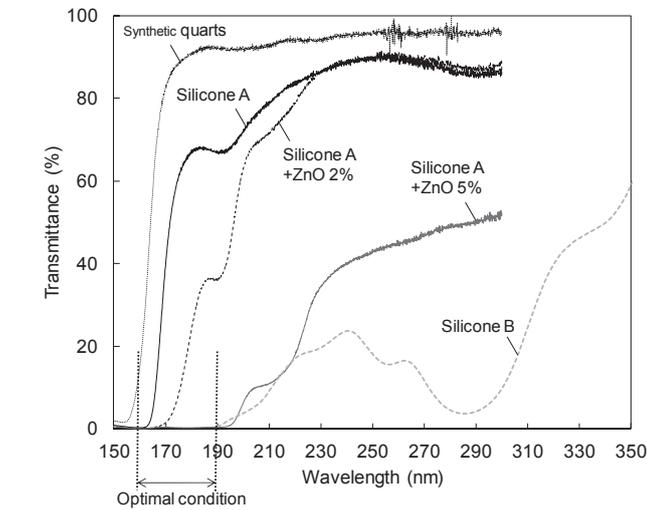


図1 真空紫外領域におけるシリコン樹脂の分光透過率

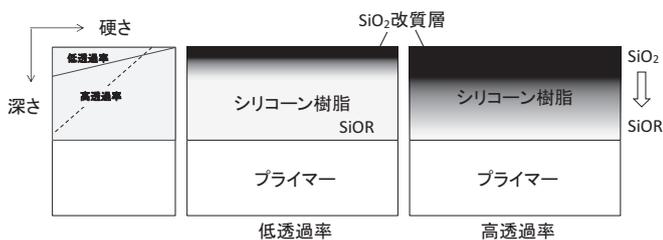


図2 2種類の傾斜組成における模式的な組成プロファイル

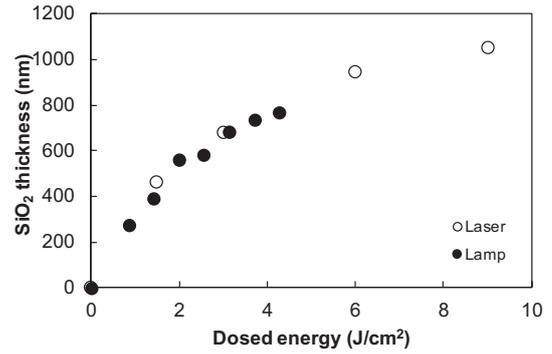


図3 投入積算エネルギーに対する SiO<sub>2</sub>改質層の厚み

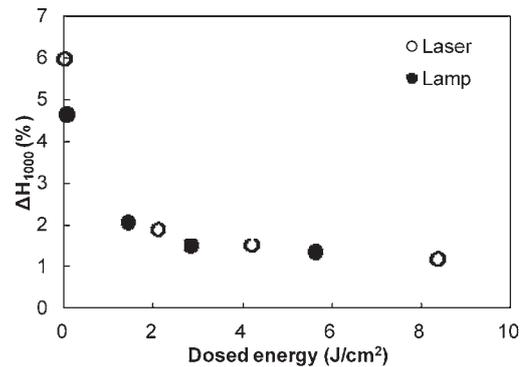


図4 1000cycleにおけるテーバー摩耗試験の結果

的な違いはほとんどないものと考えられる。

4. 結言

EV等の次世代の自動車に使用する、軽量のPC樹脂製窓の開発において、表面保護膜として使用するシリコン樹脂および、その表面の SiO<sub>2</sub>改質層の形成方法として、F<sub>2</sub>レーザーと Xe エキシマランプのいずれも使用できることを明らかにした。生産性や窓の形状を考慮し、照射に適した光源を選定することができる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費16K06754の助成を受けてなされたものです。

参考文献

[1] 新中新二他, 神奈川大学工学研究所所報, 38, 79 (2015).  
 [2] Y. Nojima, M. Okoshi, H. Nojiri, and N. Inoue: Jpn. J. Appl. Phys. 49, 072703 (2010).  
 [3] 大越昌幸, 電気学会論文誌 C 135, 1071 (2015).  
 [4] K. Iwai, S. Honda, Y. Nojima, M. Okoshi, N. Inoue, and H. Nojiri, Proc. 79th Laser Materials Processing Conf., 133 (2013).  
 [5] H. Nojiri and M. Okoshi, Jpn. J. Appl. Phys. 55, 122701 (2016).