

Barrierebeschichtung und Sterilisation von Kunststoffen im Niederdruck mit Mikrowellen- und Hochfrequenzplasmen

Simon Steves

Plasmaprozesse sind weit verbreitete Werkzeuge der Oberflächentechnik, da sie materialschonende Anwendungen, wie die Reinigung, die Aktivierung, das Ätzen oder die Sterilisation von Oberflächen ermöglichen. Das breite Anwendungsspektrum von Kunststoffen stellt neue Anforderungen an Oberflächenbehandlungen. Beispielsweise werden Thermoplaste wie Polyethylenterephthalat (PET) für die Verpackung von Lebensmitteln eingesetzt und erfordern materialschonende Beschichtungen mit transparenten Permeationsbarrieren und Verfahren zur Sterilisation.

An einem mikrowellenangeregten (2,45 GHz) Niederdruckplasma werden grundlegende Mechanismen der plasmaunterstützten Abscheidung von Siliziumoxidbarriereschichten und der Plasmasterilisation untersucht. Im Fokus steht der Einfluss einer sinusförmigen Vorspannung (13,56 MHz) des Substrathalters auf das Plasma und auf die Substrateigenschaften. Als Substrate werden Folien und Flaschen unterschiedlicher Thermoplaste verwendet. Der Plasmaprozess und die Substrateigenschaften werden im Rahmen dieser Arbeit mit quantitativen Diagnostikmethoden untersucht. Als Plasmadiagnostiken kommen dabei optische Emissionsspektroskopie, energieaufgelöste Massenspektrometrie und Messungen mit Langmuir- und Multipolresonanzsonden zum Einsatz. Die Substratoberfläche wird ex-situ mittels Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS), Infrarot-Reflexions-Absorptions-Spektroskopie (IRRAS) sowie Elektronen- und Rasterkraftmikroskopie analysiert. Des Weiteren werden die Sauerstoffpermeation von beschichteten Folien und Flaschen sowie die Sterilisationseffizienz in verkeimten Flaschen bestimmt.

Die Abscheidung einer Siliziumoxidbarriereschicht erfolgt mittels eines dreistufigen Plasmaprozesses. Dieser besteht aus einer Vorbehandlung zur Reinigung und Aktivierung der Oberfläche, gefolgt von der Abscheidung einer Zwischenschicht und einer Barrierschicht. Die Eigenschaften der Substratoberfläche werden für alle Prozessschritte analysiert und mit den Ergebnissen der Charakterisierung des Plasmaprozesses korreliert. Es zeigt sich mit Substratbias eine erhöhte atomare Sauerstoffdichte im Plasma. Die daraus resultierende Verstärkung der Oberflächenoxidation unterstützt die Abscheidung von glatten, defektarmen Schichten. Diese erzielen eine Barriereverbesserung um einen Faktor von bis zu 150 auf Folien und 7 in Flaschen.

Für die Sterilisation relevante Plasmen werden bezüglich der UV und VUV Emission charakterisiert. Mit den Ergebnissen wird ein für Flaschen optimierter Sterilisationsprozess entwickelt. Sterilisationstests zeigen, dass die Anforderungen für einen Einsatz in der aseptischen Getränkeabfüllung erfüllt werden. Es wird eine Reduktion von Endosporen um bis zu $10^{5,3}$ nachgewiesen.

Barrier coating and sterilization of plastics by microwave and radio frequency low-pressure plasmas

Barrierebeschichtung und Sterilisation von Kunststoffen im Niederdruck mit Mikrowellen- und Hochfrequenzplasmen