

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 20663 BR

Thema

Beschichtung neuartiger Polymere für optische Anwendungen (Polymere 2020)

Berichtszeitraum

01.06.2019 - 31.05.2021

Forschungsvereinigung

Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. - EFDS e.V.

Gostritzer Straße 63, 01217 Dresden

Forschungseinrichtung(en)

Fraunhofer - Gesellschaft e.V.

Fraunhofer- Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF)

Albert- Einstein- Straße 7

07745 Jena



Dr. U. Schulz

Projektleiter/- in der Forschungsstelle

Jena, 26.10.2021

Gefördert durch:

Inhalt

1.	Zielstellung	3
2.	Gegenüberstellung von Zielen, durchgeführter Arbeiten und Ergebnissen	4
3.	Veröffentlichungen des Fraunhofer IOF zum IGF- Projekt „Polymere2020“	5
4.	Ergebnisse	6
4.1	AP 1 Charakterisierung der Polymere	6
4.2	AP 2 Beschichtungsrelevante Vorbehandlungen.....	11
4.3	AP 3 Schichtentwicklung und Charakterisierung.....	13
5.	Zusammenfassung und Bewertung der fachlichen Ergebnisse	17
6.	Ergebnistransfer in die Wirtschaft und Fortschreibung.....	19
7.	Wissenschaftlich- technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Projektergebnisse für KMU	22
8.	Verwendung der Zuwendung	23
9.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten	26

1. Zielstellung

Neue transparente Polymere sind eine wichtige Basis für die fortlaufende Entwicklung und Verbesserung optischer Systeme. Dabei wird in der Regel erst durch Beschichtungen die endgültige Funktionalität der Oberflächen erreicht. Typische optische Schichten auf Kunststoff sind Entspiegelungen, die vorwiegend in plasma-gestützten Vakuumprozessen hergestellt werden. Die Vielfalt der organischen Polymere ist im Hinblick auf die chemische Zusammensetzung wesentlich größer als die der in der Optik gebräuchlichen anorganischen Substratmaterialien. Spezifische Eigenschaften, wie geringe Oberflächenhärte, Neigung zu Feuchte- und Gasabsorption und zu UV-Degradation resultieren unmittelbar aus der chemischen Zusammensetzung der Polymere. Sie beeinflussen die Beschichtbarkeit, die Lebensdauer und bestimmen den sinnvollen Einsatzbereich der Materialien. Deshalb müssen Beschichtungen für Kunststoffe und die Technologien zu ihrer Herstellung materialspezifisch entwickelt oder zumindest optimiert werden.

In Tab. 1 sind die im Vorhaben untersuchten Kunststoffmaterialien zusammengestellt, die aufgrund ihrer vorteilhaften Eigenschaften bereits jetzt für Anwendungen in den Bereichen Kamerasysteme, Beleuchtungsoptik und Fahrzeugbau sowie in der Medizintechnik angefragt werden.

Tab. 1: Materialauswahl und Anwendungsbereiche der untersuchten transparenten Polymere.

Hersteller	Markenname	$n_{d, D}$	vorteilhafte Eigenschaften	Anwendungsbereiche
Mitsubishi Gas Chemical Inc.	lupizeta® EP-6000	$\geq 1,58$	geringe Doppelbrechung, sehr hohe Brechzahl, hohe Temperaturbeständigkeit	miniaturisierte Kameralinsen für Mobiltelefone u. Automotive, Sicherheit
	lupizeta® EP-8000			
Osaka Gas Chemicals	OKP-1			
	OKP-4			
Sabic	Lexan™ CXT17UV		UV-stabilisiertes Hochtemperatur-PC	Sensor- u. Kameralinsen für Automotive
	Lexan™ CXT19UV			
Covestro AG	Makrolon® LED2245	PC mit höchster Transmission	Diverse, u.a. Sensoroptik, LED-Optik, Automotive-Displays	
Mitsui Chemicals, Inc.	APEL™ APL 5014CL	$< 1,58$	geringe Doppelbrechung, geringe Wasserabsorption	Linsen für Bildsensoren, miniaturisierte Kameralinsen
	TPX® DX820		hohe UV-Transparenz, chem. Resistenz, geringe Wasserabsorption	Medizin- u. Labortechnik, LED
	TPX® RT18			
DOW	DOWSIL™ MS-1002		keine Doppelbrechung, Temperatur- u. UV-Beständigkeit, niedriger Gelbwert	LED-Optik, zukünftig eventuell Linsen für Fahrzeugbeleuchtung
Momentive	Silopren LSR 7080HP			

Als Grundlage für die Entwicklung von polymerspezifischen Beschichtungsprozessen sollen im Rahmen des Projektes oben genannte beschichtungsrelevante Eigenschaften von ausgewählten neuen transparenten Polymeren grundlegend untersucht werden. Wesentliches Ziel des Vorhabens ist es, Wechselwirkungen beschichtungstypischer Plasmabedingungen mit den Polymeroberflächen grundlagenwissenschaftlich zu verstehen und Handlungsanweisungen für Beschichtungsprozesse abzuleiten. Es werden Modifizierungen der Polymergrenzflächen durch Oberflächenbehandlungen, wie Reinigung und Plasmavorbehandlungen untersucht. In einer übergreifenden Systematisierung sollen die neuen Materialien mit bereits gut bekannten Polymeren verglichen und die Ursachen für abweichendes Verhalten erläutert werden. Dabei werden sowohl die chemischen und strukturellen Merkmale als auch

deren Auswirkung auf die Modifizierungen in Plasmen und die Beschichtbarkeit gegenübergestellt und bewertet.

Es werden Empfehlungen bezüglich vorteilhafter Anwendungsbedingungen für die Polymere erarbeitet und gleichzeitig deren Grenzen aufgezeigt. Optimierte Beschichtungsbedingungen sollen an optischen Modellsystemen (Entspiegelungs-Schichtsystemen) erprobt und somit ihre Tauglichkeit nachgewiesen werden.

2. Gegenüberstellung von Zielen, durchgeführter Arbeiten und Ergebnissen

Arbeitspaket	Ziele	durchgeführte Arbeiten	Ergebnisse mit Verweisen zum Fachbericht und zu IOF-Veröffentlichungen
AP1 Charakterisierung der unbeschichteten Polymere	Bestimmung von Basis-eigenschaften im Vergleich zu bekannten Polymeren	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung Polymere und Referenzmaterialien - Bestimmung optischer Eigenschaften - Charakterisierung: Wasseraufnahme, Härte, Oberflächenenergie - Provokation Kunststoffalterung durch Temperatur, Feuchte u. UV 	<ul style="list-style-type: none"> - UV-VIS-IR-Spektren, Brechzahlen, Bewertung von Wasseraufnahme, Benetzbarkeit, Bleistifhtätewerte liegen vor [IOF3, IOF6, IOF11] - Veränderungen optischer Eigenschaften durch Wärme, Feuchte, UV-Strahlung spektral erfasst wissenschaftlich interpretiert [IOF1] - Vor- und Nachteile der neuen hochbrechenden Materialien veröffentlicht s. Bericht 4.1 und [IOF1, IOF4, IOF6]
AP2 Beschichtungs-relevante Vorbehandlungen	Verständnis des Einflusses von Reinigung und Plasma-Vorbehandlung und Ermittlung geeigneter Parameter	<ul style="list-style-type: none"> - Test von Reinigungs-prozeduren - Plasmabehandlungen mit Bewertung der Aktivierung - Einfluss von Reinigung und Aktivierung auf die Schichthaftung 	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung auf eine optimierte Reinigungsprozedur [IOF7] - Plasmavorbehandlungen erhöhen die Schichthaftung, dürfen aber bei den hochbrechenden Polymeren 5s nicht übersteigen [IOF1, IOF8] - APEL, ZEONEX und OKP-1 erreichen auch ohne Vorbehandlung sehr gute Haftung [Bericht 4.2]
AP3 Beschichtung und Charakterisierung	Darstellung von Einzelschichten und AR-Schichtsystemen mit dem Ziel der Bewertung der neuen Polymeren im Vergleich zu den Referenzmaterialien	<ul style="list-style-type: none"> - Studie zur Haftung von Metallisierungen - Studie zur Beschichtung von Silikonen - Herstellung und Prüfung von Oxidschichten - Herstellung und Prüfung von Antireflex-Schichtsystemen 	<ul style="list-style-type: none"> - Degradation der Polymeren durch Sputterplasma bei der Metallisierung: PC, EP, OKP erreichen keine Haftfestigkeit [Bericht 4.3] - Gute Haftung auf ZEONEX und APEL - Oxidschichten und AR-Systeme auf EP6000, EP8000 und OKP-4 bezüglich Haftung mit PC vergleichbar [IOF 1-9] - Haftung auf OKP-1 deutlich besser als die der anderen hoch-brechenden Polymere [IOF1, IOF3-IOF6] - TPX und Silikone können nicht empfohlen werden [IOF8, IOF9, IOF10] - 4 AR-Systeme als Demonstratoren [Bericht 4.3]

AP4 Systematisierung und Veröffentlichung	Bekannt- machung der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> - Berichte - Publikationen - Sitzungen mit Fachausschüssen, PA - 4 studentische Qualifizierungs- arbeiten 	<ul style="list-style-type: none"> - s. Referenzen [IOF1] bis [IOF10] - Webseite: https://www.iof.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/funktionale-oberflaechen-und-schichten/kunststoffoptiken/polymere-2020.html
--	---------------------------------------	--	---

3. Veröffentlichungen des Fraunhofer IOF zum IGF- Projekt „Polymere2020“

[IOF1]	U. Schulz, N. Gratzke, F. Rickelt, C. Hahmann, T. Seifert, A. Gärtner, „Coating-relevant properties of high-index optical polymers for automotive applications“, Applied Optics Vol. 60, No. 20 / 10 July 2021, E34-E40, published 20 April 2021
[IOF2]	U. Schulz, K. Pfeiffer, A. Szeghalmi, N. Gratzke, T. Seifert, F. Rickelt, Entspiegelung von Polycarbonat für LIDAR- Anwendungen, Jahresbericht 2020 des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) Jena, S. 66-67, 04/2021
[IOF3]	U. Schulz, F. Rickelt, N. Gratzke, „Hochbrechende Polymere: Eigenschaft und Beschichtung“, Galvanotechnik, Eugen G. Leuze Verlag, S. 1082-1084, 8/2021
[IOF4]	U. Schulz, N. Gratzke, T. Seifert, C. Hahmann, F. Rickelt, S. Schröder, „Properties of new transparent polymers for optical applications“, SPIE Conference Optical Systems Design - Advances in Optical Thin Films VII, 11872-16, 13.- 17.09.2021, (Vortrag, Invited)
[IOF5]	U. Schulz, N. Gratzke, T. Seifert, C. Hahmann, F. Rickelt, S. Schröder, „Properties of new transparent polymers for optical applications“, Proc. of SPIE Vol. 11872, Advances in Optical Thin Films VII, 118720J, (12 September 2021); doi: 10.1117/12.2597061
[IOF6]	U. Schulz, „Entspiegelung hochbrechender Polymere für optische Anwendungen“, Tagungsbeitrag, V2021 – Vakuum & Plasma, Workshop Optik, Dresden, 12. - 14.10.2021
[IOF7]	C. Hahmann: „Einfluss beschichtungsrelevanter Vorbehandlungen auf die Oberflächeneigenschaften neuartiger Polymere für die Optik“, Bachelorarbeit FB SciTec, 29.05.2020
[IOF8]	T. Seifert: „Untersuchungen zur Optimierung der Schichthaftung auf Polycarbonaten“, Masterarbeit FB SciTec, 28.01.2021
[IOF9]	S. Jauch: „Charakterisierung von Material- und Oberflächeneigenschaften von Silikonen für optische Anwendungen“, Praktikumsarbeit FB SciTec, 12.02.2021
[IOF10]	S. Jauch: „Untersuchungen zur optischen Funktionalisierung von Silikonen“, Masterarbeit FB SciTec, 07.10.2021
[IOF11]	Webseite: https://www.iof.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/funktionale-oberflaechen-und-schichten/kunststoffoptiken/polymere-2020.html

Die Veröffentlichungen werden als Referenzen im (gekürzten) Ergebnisteil dieses Berichtes (4.) angegeben. Umfangreiche weitere Literaturverweise sind in den Veröffentlichungen enthalten.