

Ellipsometrische Charakterisierung von Polydopamin für funktionelle technische Schichten

Elena Ermilova*, Andreas Hertwig*, Thorsten Döhring**, Eva Stanik**,
Vincenzo Cotroneo***, Eugenio Gibertini****

* Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, D-12203 Berlin

** Fakultät Ingenieurwissenschaften, TH Aschaffenburg, D-63743 Aschaffenburg

*** INAF-Osservatorio Astronomico di Brera, I-23807 Merate, Italien

**** Politecnico di Milano, I-20131 Milano, Italien

<mailto:thorsten.doehring@th-ab.de>

Dünne Schichten aus dem bionischen Material Polydopamin (PDA) sind heute zunehmend auch für innovative technische Anwendungen von Interesse. Mittels spektroskopischer Ellipsometrie wurde die dielektrische Funktion von PDA vom ultravioletten bis zum nahen infraroten Spektralbereich vermessen. Über ein Modell wurde auch die Dicke dieser selbstorganisierenden Schichten bestimmt.

1 Einführung: Dopamin – das „Glückshormon“

Der Nobelpreis für Physiologie und Medizin ging im Jahr 2000 an den Hirnforscher Arvid Carlsson von der Universität Göteborg. Er entdeckte die Signalsubstanz Dopamin (das „Glückshormon“) und erforschte deren Bedeutung in der Medizin (Abb. 1).

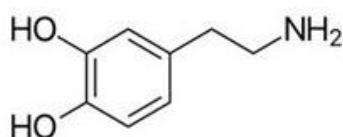


Abb. 1 Links: Chemische Strukturformel des Moleküls Dopamin, Rechts: Arvid Carlsson, Nobelpreisträger 2000 (Foto: Nobelpreiskomitee) [1].

2 Polydopamin: Ein bionisches Material

Das Zukunftsmaterial Polydopamin (PDA) ist von der Natur inspiriert: Muscheln produzieren das Protein, um sich damit auf Oberflächen festzusetzen (Abb. 2). Weil es auf Materialien jeglicher Art anhaftet, ist dies ein idealer „Klebstoff“, um Werkstoffe miteinander zu verbinden [2].

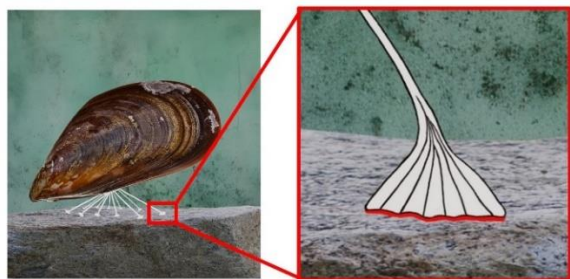


Abb. 2 Miesmuschel mit Byssalfäden, die den Klebstoff PDA enthalten (Bildquelle: TH Aschaffenburg) [2].

Das bioinspirierte Polymer Polydopamin (PDA) kann mit einer einfachen Tauchbeschichtung („dip-coating“) auf nahezu jedem Substrat einen hochstabilen Beschichtungsfilm bilden (Abb. 3) [2].

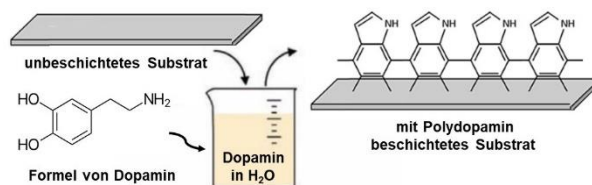


Abb. 3 Schematischer Herstellprozess für Polydopamin-schichten (Bildquelle: TH Aschaffenburg) [2].

Es gibt bereits diverse technische PDA-Anwendungen im Umweltschutz, im Energiebereich und für die Katalyse [3]. Wir nutzen Polydopamin als eine reflexionsverstärkende Beschichtung von astronomischen Röntgenspiegeln (Abb. 4) [4].

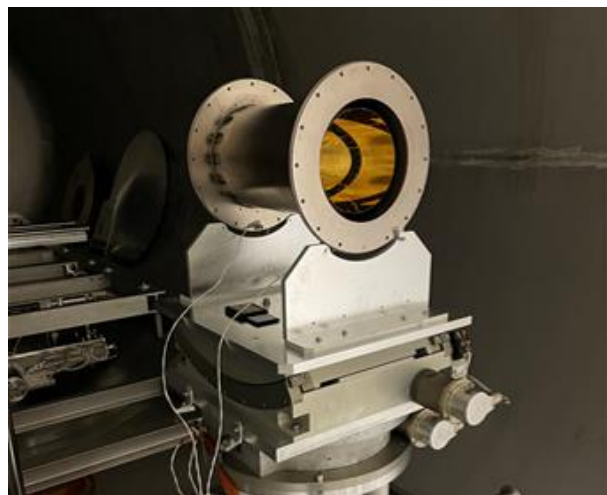


Abb. 4 Astronomischer Röntgenspiegel mit einer Kombination aus einer Goldbeschichtung und einer Deckschicht aus Polydopamin während einer Messkampagne in der Röntgentestanlage PANTER des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik (Foto: MPE).

3 Ellipsometrische Messungen

Die unbekannte Dicke der selbstorganisierenden PDA-Beschichtungen während des Herstellprozesses (im Bereich weniger nm) wurde mit Hilfe einer ellipsometrischen Charakterisierung vermessen.



Abb. 5 Experimenteller Aufbau - Ellipsometer M-2000 DI von J.A.Woollam in PCrSA Konfiguration (Foto: BAM).

Die ellipsometrischen Größen Ψ und Δ werden dabei über die Vermessung der polarisationsabhängigen Reflektivitäten r_s und r_p bei mehreren Einfallswinkeln bestimmt (Abbildungen 5 & 6) [2] [5].

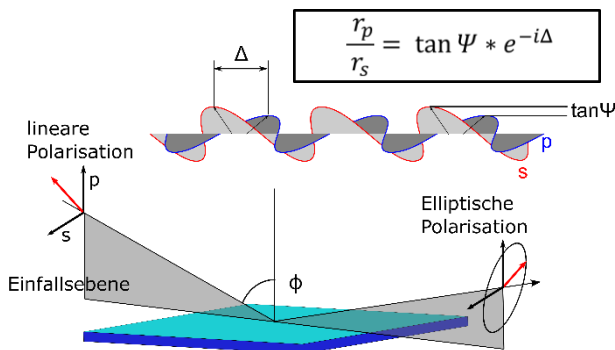


Abb. 6 Berechnungsformel und optisches Prinzip der ellipsometrischen Messungen (Bildquelle: BAM) [5].

Über ein Modell erfolgt dann der Fit von Schichtdicken und optischen Konstanten. Trotz unterschiedlicher Prozesszeiten ergaben sich nahezu konstante Dicken der Polydopamin-Schichten von ca. 35 nm (Abb. 7). Die Ergebnisse wurden zusätzlich durch eine Kontrollmessung der Schichtdicke mit einem taktilen Profilometer verifiziert [2].

Prozesszeit	PDA-Schichtdicke	Brechungsindex n bei 500 nm
2 h	33,92 nm	1,71
5 h	34,33 nm	1,71
20 h	35,39 nm	1,72

Abb. 7 Ergebnisse der PDA Schichtdickenbestimmung.

4 Komplexer Brechungsindex von Polydopamin

Im Rahmen dieser ellipsometrischen Charakterisierung wurde gleichzeitig der komplexe Brechungsindex von Polydopamin über einen großen Wellenlängenbereich erstmalig bestimmt (Abb. 8) [2].

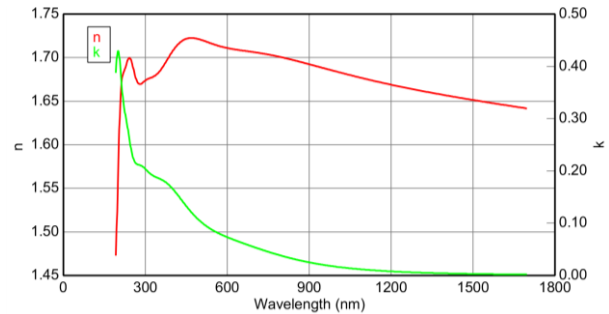


Abb. 8 Komplexer Brechungsindex von Polydopamin [2].

5 Zusammenfassung und Ausblick

Dünne Filme des organischen Polymers Polydopamin (PDA) haben interessante technische Eigenschaften und eröffnen neue Anwendungen. Die vorgestellten Messungen wurden durch die Anwendung von Polydopamin-Schichten bei astronomischen Röntgenspiegeln vorangetrieben. Ellipsometriemessungen dienen als Methode zur Bestimmung der Schichtdicke von Polydopamin. Ferner wurde der komplexe Brechungsindex der erzeugten PDA-Schichten von UV bis NIR bestimmt. Hierdurch wird die bisherige Datenbasis [6] dieses innovativen Zukunftsmaterials deutlich erweitert.

Danksagung

Das Projekt ACCASI wird durch das bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst gefördert. Die Arbeiten in Italien wurden durch die Raumfahrtbehörde ASI über "Accordo ASI/INAF n. 2020-3-HH.1-2021" finanziert.

Literatur

- [1] Nobel Prize Outreach (2000), <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2000/press-release/>
- [2] E. Ermilova et. al: "Ellipsometrical characterization of poly-dopamine layers considered for technical applications", Proc. SPIE 13013, 1301309 (2024).
- [3] Q. Huang et al.: "Polydopamine-based functional materials and their applications in energy, environmental, and catalytic fields: State-of-the-art review", Chemical Engineering Journal 387, 124019 (2020).
- [4] V. Cotroneo et al.: „Dopamine dip-liquid overcoatings for soft x-ray reflectivity enhancement“, Proc. SPIE 12181, 1218117 (2022).
- [5] H. Fujiwara: "Spectroscopic Ellipsometry: Principles and Applications", Wiley (2007).
- [6] R. Qie et al.: "Parameterization of the optical constants of polydopamine films for spectroscopic ellipsometry studies". Physical Chemistry Chemical Physics, 23, 5516 (2021).