

Umweltbeständige Spiegelbeschichtungen aus Iridium für den infraroten Spektralbereich

Thorsten Döhring¹, Manfred Stollenwerk¹, Paul Schmitt², Adriana Szeghalmi²

¹ Fakultät Ingenieurwissenschaften, Technische Hochschule Aschaffenburg, Aschaffenburg

² Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Leistungszentrum Photonik, Jena

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

Das Edelmetall Iridium ist hart; extrem dicht; thermisch, mechanisch und chemisch stabil; weist eine hohe Reflektivität im mittleren und fernen Infrarot auf und hat eine hohe Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen - auch ohne weitere Schutzschichten. Es wurden die komplexen Brechungsindizes für Iridium-Spiegelbeschichtungen bestimmt, welche vorhandene Literaturwerte ergänzen.

1 Einführung

Hochreflektierende Metallbeschichtungen sind extrem wichtig für zahlreiche optische Elemente. Bewährte Spiegelbeschichtungen aus Silber und Gold bieten eine hohe und breitbandige Reflektivität im infraroten Spektralbereich, sind jedoch ohne geeignete Schutzschichten anfällig gegenüber Umwelteinflüssen und mechanischer Beanspruchung. Insbesondere im langwelligen Spektralbereich verringern Absorptionsbanden von Schutzschichten teilweise wieder die hohe Spiegelreflektivität. Das Edelmetall Iridium (Ir) ist hart; extrem dicht; thermisch, mechanisch und chemisch stabil; weist eine ähnlich hohe Reflektivität im mittleren und fernen Infrarot, wie Silber und Gold, auf und hat zusätzlich eine hohe Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen - auch ohne Schutzschichten.

2 Messergebnisse

In diesem Beitrag werden die optischen und strukturellen Eigenschaften von polykristallinen Iridium-Spiegelbeschichtungen, welche mittels zwei verschiedener Verfahren - Atomlagenabscheidung (ALD) und Magnetron-Sputtern (MS) - hergestellt wurden, vorgestellt und miteinander verglichen. Für die ALD-Abscheidungen wurden ein kommerzielles System SunALE R-200 Advanced (Picosun Oy, Finnland), sowie Iridium(III)-acetylacetonat und molekularer Sauerstoff als Präkursoren verwendet [1]. Die MS-Abscheidungen wurden mit einer Hochfrequenz-Magnetron-Sputteranlage VPA 21 (Aurion Anlagentechnik, Deutschland) unter Verwendung eines reinen Iridium-Targets und Argon als Sputtergas durchgeführt [2]. Bekanntlich hängt die Struktur gesputterter Metallschichten stark von den verwendeten Prozessparametern ab. Um glatte und dichte Iridium-Schichten zu erzielen, wurde eine Sputterleistung von 300 W und ein aktiv geregelter Prozessdruck von etwa 0,5 Pa verwendet.

Die erzeugten Ir MS-Körner auf der Oberfläche sind im Vergleich zu Ir ALD deutlich kleiner (Abb. 1), was durch XRD-Analysen ebenfalls bestätigt wurde [1].

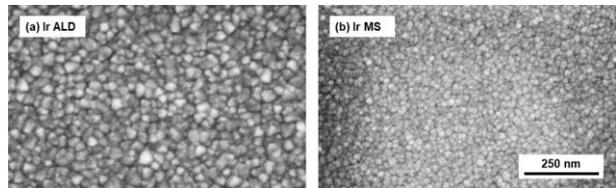


Abb. 1 Rasterelektronenmikroskopie (REM) Aufnahmen (Draufsicht) von Iridium-Spiegelbeschichtungen, welche mittels (a) Atomlagenabscheidung (ALD) und (b) Magnetron-Sputtern (MS) hergestellt wurden. Der Maßstab gilt für beide REM-Aufnahmen.

Die Reflektivität (Abb. 2) wurde mit einem Zweistrahl-Spektrophotometer Lambda 900 (PerkinElmer, MA, USA) bei 6° Einfallswinkel von 0,2 μm bis 2,5 μm Wellenlänge und einem FTIR-Spektrometer Frontier Optica (PerkinElmer) im Reflexionsmodus bei 10° Einfallswinkel zwischen 2,4 μm und 20 μm gemessen.

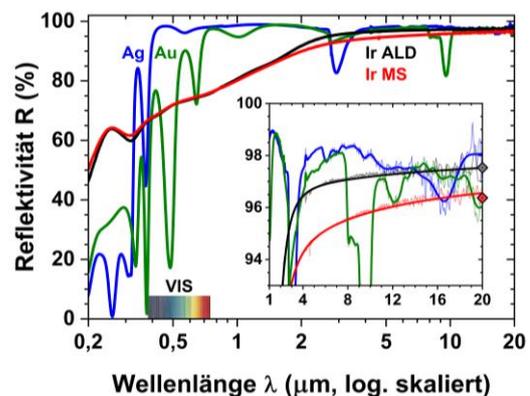


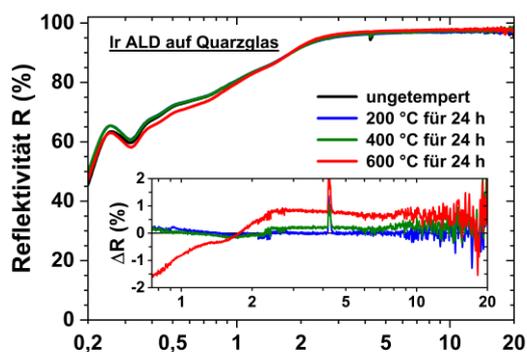
Abb. 2 Reflektivität ungeschützter Iridium-Spiegelbeschichtungen, welche mittels ALD (schwarz) und MS (rot) hergestellt wurden, im Vergleich zu kommerziell erhältlichen geschützten Silber- (Ag, blau) und Gold- (Au, grün) Spiegelbeschichtungen zwischen 0,2 μm und 20 μm Wellenlänge. Das Detailbild zeigt zusätzlich die berechnete Iridium-Reflektivität (Rhomben), die indirekt über deren spezifischen elektrischen Widerstand (gemäß der Hagen-Rubens-Relation) ermittelt wurde [1].

3 Komplexer Brechungsindex

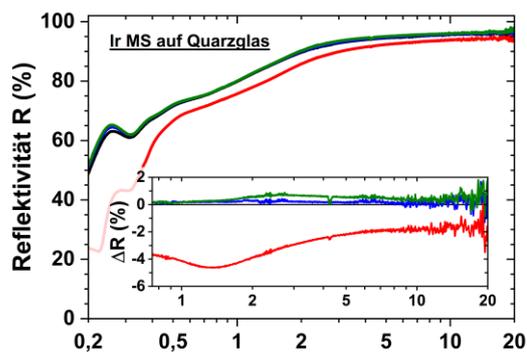
Die komplexen Brechungsindizes für ALD-erzeugte und gesputterte Iridium-Spiegelbeschichtungen (Abb. 2) wurden für Wellenlängen von 0,2 - 20 μm bestimmt [1]. Diese ermittelten Werte ergänzen nun bereits vorhandene Literaturdaten.

Wellenlänge λ	Photonenenergie E	Iridium ALD		Iridium MS	
(μm)	(eV)	n	k	n	k
0.200	6.200	1.02	1.91	1.01	2.04
0.220	5.641	0.98	2.25	1.02	2.39
0.240	5.175	1.04	2.61	1.11	2.73
0.259	4.780	1.22	2.95	1.29	3.04
0.279	4.441	1.49	3.17	1.54	3.24
0.299	4.146	1.72	3.20	1.75	3.30
0.319	3.889	1.77	3.19	1.82	3.33
0.339	3.661	1.73	3.29	1.82	3.44
0.358	3.459	1.72	3.48	1.84	3.61
0.378	3.278	1.78	3.68	1.90	3.79
0.398	3.115	1.87	3.85	1.98	3.95
0.448	2.770	2.03	4.21	2.15	4.32
0.497	2.494	2.22	4.59	2.35	4.71
0.557	2.228	2.50	4.98	2.63	5.11
0.606	2.046	2.71	5.23	2.86	5.38
0.656	1.891	2.88	5.45	3.05	5.60
0.705	1.758	3.01	5.66	3.20	5.82
0.755	1.643	3.10	5.86	3.32	6.04
0.804	1.542	3.17	6.08	3.42	6.27
0.854	1.452	3.23	6.31	3.52	6.51
0.903	1.373	3.27	6.56	3.60	6.75
0.953	1.301	3.32	6.81	3.68	6.99
1.002	1.237	3.37	7.08	3.76	7.24
1.507	0.8226	3.81	9.57	4.41	9.85
2.003	0.6192	3.64	12.38	5.01	12.59
2.498	0.4964	3.79	15.75	5.80	15.40
3.003	0.4129	4.40	19.22	6.81	18.20
3.498	0.3545	5.28	22.50	7.98	20.81
4.004	0.3097	6.39	25.69	9.30	23.30
4.509	0.2750	7.63	28.72	10.71	25.62
5.004	0.2478	8.95	31.54	12.14	27.73
6.004	0.2065	11.84	36.81	15.08	31.52
7.005	0.1770	14.90	41.55	17.97	34.81
8.005	0.1549	18.02	45.81	20.76	37.69
9.006	0.1377	21.15	49.65	23.42	40.25
10.006	0.1239	24.23	53.15	25.94	42.56
11.006	0.1127	27.24	56.34	28.33	44.68
12.007	0.1033	30.16	59.27	30.60	46.64
13.007	0.0953	32.98	61.98	32.75	48.47
14.008	0.0885	35.71	64.51	34.81	50.20
15.008	0.0826	38.35	66.87	36.77	51.83
16.008	0.0775	40.89	69.10	38.65	53.39
17.009	0.0729	43.34	71.21	40.45	54.88
18.009	0.0689	45.71	73.22	42.18	56.32
19.000	0.0653	47.97	75.12	43.84	57.69
20.000	0.0620	50.19	76.96	45.45	59.03

4 Umweltsimulationen



(a) Wellenlänge λ (μm , log. skaliert)



(b) Wellenlänge λ (μm , log. skaliert)

Abb. 3 Reflektivität von ungeschützten (a) Iridium ALD- und (b) Iridium MS-Spiegelbeschichtungen nach den thermischen Stabilitätstests. Die Nebenbilder veranschaulichen die Reflexionsänderungen nach jeweils 24 h Temperung bei 200 °C (blau), 400 °C (grün) und 600 °C (rot) im Vergleich zur ungetemperten Beschichtung (schwarz).

Die ungeschützten Iridium-Spiegelbeschichtungen wurden auf Umweltbeständigkeit und thermische Stabilität getestet (Abb. 3). Ihre Umweltbeständigkeit wurde gemäß ISO 9211-3 und deren normative Verweisungen getestet. Die thermische Stabilität wurde hierbei unter Verwendung eines Vakuum-Temperofens bewertet. Dazu wurden die Proben mit 10 K/min hochgeheizt, 24 h auf der Zieltemperatur gehalten und dann passiv gekühlt [1].

5 Zusammenfassung und Ausblick

Iridium bietet ein hohes und breitbandiges Eigenreflexionsvermögen vom mittleren bis in den fernen infraroten Spektralbereich. Im Gegensatz zu etablierten (geschützten) Spiegelbeschichtungen aus Silber und Gold sind Iridium-Beschichtungen umweltbeständig und temperaturbeständig bis 600 °C, auch ohne Schutzschichten. Iridium hat Potenzial als interessantes Spiegelbeschichtungsmaterial für spezielle Anwendungen in der Infrarot-Astronomie.

Danksagung

Paul Schmitt dankt der Thüringer Aufbaubank für die Förderung seiner Promotion. Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem DFG-Sonderforschungsbereich SFB 1375. Die Arbeiten an der TH Aschaffenburg im Rahmen des ACCASI-Projektes wurden durch das Bayerische Ministerium für Wissenschaft und Kunst finanziert.

Referenzen

- [1] Paul Schmitt et al.: „Optical, structural, and functional properties of highly reflective and stable iridium mirror coatings for infrared applications“, *Optical Materials Express* **12**, 545-559 (2022).
- [2] T. Döhring et al.: „Optical characterization of reflective coatings for astronomical telescope mirrors“, *DGaO-Proceedings* (2021), ISSN: 1614-843, urn:nbn:de:0287-2021-P004-1.