

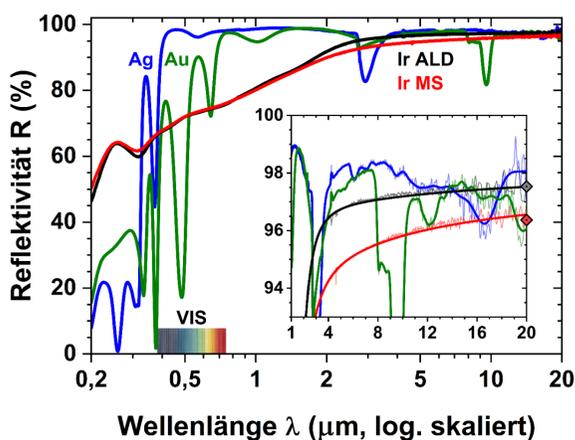
## Umweltbeständige Spiegelbeschichtungen aus Iridium für den infraroten Spektralbereich

Thorsten Döhring<sup>1</sup>, Manfred Stollenwerk<sup>1</sup>, Paul Schmitt<sup>2</sup>, Adriana Szeghalmi<sup>2</sup>

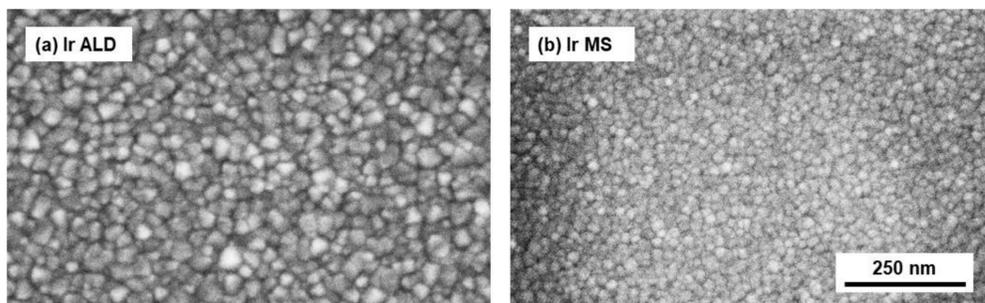
<sup>1</sup> Fakultät Ingenieurwissenschaften, Technische Hochschule Aschaffenburg, D-63743 Aschaffenburg

<sup>2</sup> Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF Jena, Leistungszentrum Photonik, D-07745 Jena

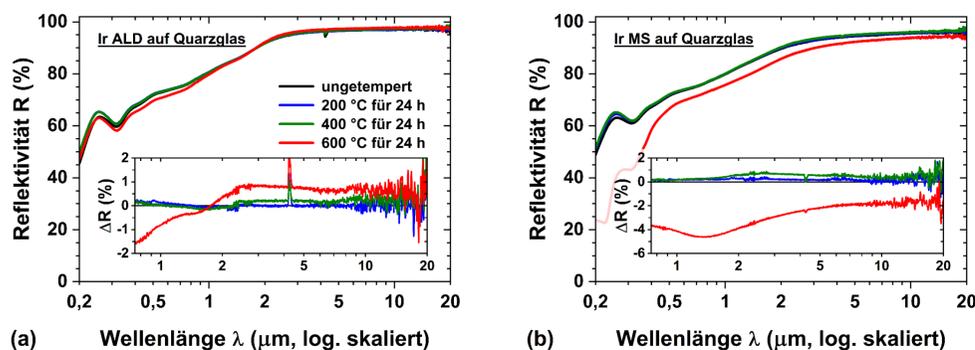
**Zusammenfassung:** Hochreflektierende Metallbeschichtungen sind essenziell für zahlreiche optische Elemente. Bewährte Spiegelbeschichtungen aus Silber und Gold bieten eine hohe und breitbandige Eigenreflexion im infraroten Spektralbereich, sind ohne geeignete Schutzschichten jedoch anfällig gegenüber Umwelteinflüssen und mechanischer Beanspruchung. Insbesondere im langwelligen Spektralbereich verringern die Absorptionsbanden dieser Schutzschichten teilweise die hohe Spiegelreflektivität wieder. 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. In diesem Beitrag werden die optischen und strukturellen Eigenschaften von Iridium-Spiegelbeschichtungen, welche mittels Atomlagenabscheidung (ALD) und DC-Magnetron-Sputtern hergestellt wurden, vorgestellt und miteinander verglichen. Die komplexen Brechungsindizes für ALD-erzeugte und gesputterte Iridium-Spiegelbeschichtungen wurden für Wellenlängen von 200 nm bis 20 µm bestimmt, welche nun bereits vorhandene Literaturwerte ergänzen.



**Abb. 1:** Reflektivität ungeschützter Iridium-Spiegelbeschichtungen, welche mittels Atomlagen-abscheidung (ALD, schwarz) und Magnetron-Sputtern (MS, rot) hergestellt wurden, im Vergleich zu kommerziell erhältlichen geschützten Silber- (Ag, blau) und Gold- (Au, grün) Spiegelbeschichtungen zwischen 200 nm 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.



**Abb. 2:** Rasterelektronenmikroskopie (REM) Aufnahmen (Draufsicht) von Iridium-Spiegelbeschichtungen, welche mittels (a) ALD und (b) MS hergestellt wurden. Die Iridium MS-Körner auf der Oberfläche sind im Vergleich zu Iridium ALD deutlich kleiner, was ebenfalls durch Röntgendiffraktometrie (XRD)-Analysen bestätigt wurde. Der Maßstab (unten rechts) gilt für beide REM-Aufnahmen.



**Abb. 3:** Reflektivität von ungeschützten (a) Iridium ALD- und (b) Iridium MS-Beschichtungen, abgeschieden auf Quarzglas nach 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).

### Weiterführende Literatur:

- [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) <https://doi.org/10.1364/OME.447306>
- [2] T. Döhring et al.: „Optical characterization of reflective coatings for astronomical telescope mirrors“, *DGaO-Proceedings* (2021) [https://www.dgao-proceedings.de/download/122/122\\_p4.pdf](https://www.dgao-proceedings.de/download/122/122_p4.pdf)



Wellenlänge $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Photonen- energie E (eV)	Iridium ALD		Iridium MS	
		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

### Danksagung:

Paul Schmitt dankt der Thüringer Aufbaubank (TAB) für die Förderung seiner Promotion. Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem DFG-Sonderforschungsbereich (SFB) 1375 „NOA – Nonlinear Optics down to Atomic scales“. Die Arbeiten im „Aschaffenburg Competence Center for Astronomical and Space Instrumentation“ (ACCASI) wurden durch das Bayerische Ministerium für Wissenschaft und Kunst finanziert.