

Metallspiegel exzellenter Form und Rauheit



Ralf Steinkopf



Andreas Gebhardt



Sebastian Scheiding



Angela Duparré



Stefan Risse



Mathias Rohde



Ramona Eberhardt

Verwendet als Reflektoren mit gleichzeitig hoher thermischer Leitfähigkeit in Lasersystemen oder als gewichtsreduzierte, hochsteife Optiken in Teleskopen werden Metallspiegel in unterschiedlichen Applikationen eingesetzt. Typische Materialien sind Kupfer (die sehr gute thermische Leitfähigkeit von Kupfer ermöglicht den effektiven Einsatz in Lasersystemen), Beryllium (aufgrund der toxischen Eigenschaften bleibt Beryllium wenigen Spezialanwendungen vorbehalten) und Aluminium.

Aluminium lässt sich hervorragend durch Diamantdrehen oder -fräsen bearbeiten (Abb. 1) und adressiert insbesondere Anwendungen im IR-Bereich. Neue Legierungen mit extrem feinen Kornstrukturen erlauben dabei Mikrorauheiten von $< 3 \text{ nm rms}$ (Abb. 2) /1/. Metallspiegel für kürzere Wellenlängen können über eine diamantbearbeitbare Schicht aus einer Nickel Phosphor (NiP) Legierung realisiert werden. Aufgrund der Härte dieses Materials und des amorphen Gefüges werden extrem geringe Rauheiten in einem nachträglichen Polierprozess erzeugt /2/.

Ausgehend von den Anforderungen des Optik- und Mechanikdesigns wird die Prozesskette für die Fertigung der Metalloptiken adaptiert. In Abhängig-

keit der Einsatzwellenlänge werden die notwendigen Einzelschritte zu einer effizienten Fertigungstechnologie verknüpft (Abb. 3). Für IR-Anwendungen können die typischen Anforderungen an Mikrorauheit und Formabweichung direkt mittels Diamantzerspanung realisiert werden. Applikationen im UV-VIS- oder im kurzwelligen UV-Bereich erfordern die Entfernung der typischerweise im Drehprozess entstehenden periodischen Strukturen (Glättung) und die Reduzierung der globalen Formabweichung.

Dazu werden spezielle Polierverfahren eingesetzt /3/. Mikrorauheiten kleiner $0,5 \text{ nm rms}$ und Formabweichungen kleiner 140 nm P-V bezogen auf einen Durchmesser von 250 mm werden gegenwärtig erreicht. Um die hohen Anforderungen an Lebenserwartung und Performance zu erfüllen, werden Reflexionsschichten auf die bearbeiteten Metalloberflächen appliziert. Besonders herausragende Eigenschaften im NIR- und IR-Bereich können mit gesputterten Goldschichten, für Optiken im breitbandigen Einsatz vom UV-VIS bis zum NIR mit Silber, verbunden mit einer Schutzschicht, erreicht werden /4/.

Besonderer Dank gilt Volkmar Giggel, Heiko Löscher, Gert Ullrich und Peter Rucks (Carl Zeiss Jena) für die stets konstruktive Zusammenarbeit.

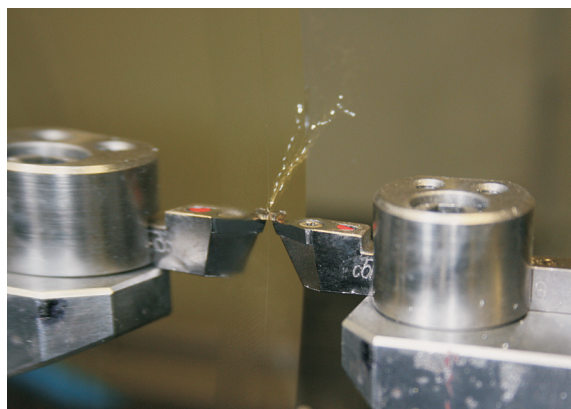
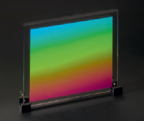


Abb. 1:
Diamantdrehen von Metallspiegeln mit exzellenter Form und Rauheit.

Fig. 1:
Diamond turning of metal mirrors with excellent surface and roughness.



The deployment as reflectors with a high thermal conductivity in laser applications or to bend light beams in telescopes show the different fields of applications for metal mirrors. Common materials for metal mirrors in optical applications are aluminium, copper or beryllium. Copper is often used in laser applications; the high thermal conductivity is one major benefit for this selection. Aluminium has a good reflectivity even for shorter wavelengths and is, like beryllium, lightweight and readily formable. But Beryllium has the negative characteristic of toxic behavior and is for this reason not commonly used, although it is very stiff and has a light weight nature.

Aluminium mirrors, instead, can easily be processed with diamond turning technology (Fig. 1). Especially novel aluminium alloys allow for surfaces with a very smooth micro roughness, even better than 3 nm rms (Fig. 2) /1/. After defining the optical and mechanical design of the mirror the process chain has to be specified.

According to the wavelength of the application, the process steps must be selected in detail and combined to an efficient process chain (Fig. 3). In case of infrared applications the requirements regarding micro roughness and global shape error can be met directly with diamond turning. The process chain for metal mirrors used in the range of VIS or even UV wavelengths contains a few steps more. The reason is that the diamond turning process leaves structures which work as a very effective but undesirable optical grating at these wavelengths. To smooth these structures, the aluminium mirror has to be plated with a material which can be polished. Nickel-Phosphorus (NiP) alloys offer a good solution for at least two reasons /2/.

First, NiP is hard enough to get polished and second, NiP is an amorphous material. Hence there is no grain structure visible. Two different polishing techniques are employed /3/: smoothing for removing periodical structures and reducing the micro roughness as well as shape correction for removing the residual error from diamond turning and polishing. Micro roughness better than 0.5 nm rms and global form deviations

down to 140 nm P-V at 250 mm diameter can be achieved. To improve the optical qualities, high reflective coating materials are employed. For applications at IR and NIR wavelengths, gold is the material of choice. Going down to shorter wavelengths the optical layer has to be changed. A good reflectivity from VIS to NIR is offered by silver as coating material /4/.

We would like to thank Volkmar Giggel, Heiko Löscher, Gert Ullrich and Peter Rucks (Carl Zeiss Jena) for their constructive contributions.

References:

- /1/ Parsonage, T. B.: New technologies for optical systems utilizing aluminium beryllium, SPIE Proc. 7018-23, Astronomical Instrumentation, Marseille, 2008.
- /2/ Risse, S. et al: Novel TMA telescope based on ultra precise metal mirrors, SPIE Proc. 7010-41, Astronomical Instrumentation, Marseille, 2008.
- /3/ Risse, S.; Gebhardt, A.; Steinkopf, R.; Giggel, V.: NiP plates mirrors for astronomy and space, Proc. of the 7th EUSPEN Bremen 2007, p. 348–351.
- /4/ Kaiser, N.: Coating development for optical instrumentation, Photonik International 2007.

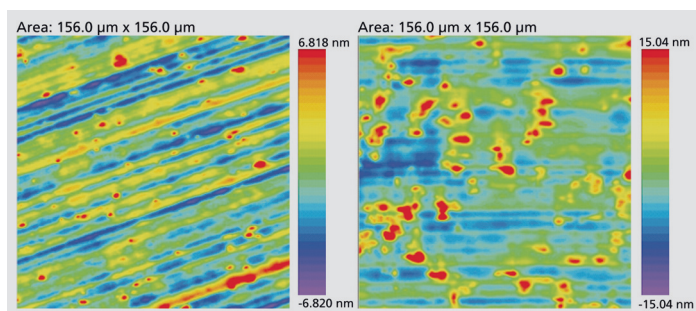


Abb. 2: Weißlichtmessung von im Gefüge unterschiedlichen Aluminium-Legierungen gleicher Zusammensetzung (links: RSA6061 [2 nm rms], feine Kornstruktur; rechts: Al6061 [5 nm rms], grobe Kornstruktur).

Fig. 2: White light measurement of two aluminum alloys with the same composition but different grain sizes (left : RSA6061 [2 nm rms] with small grain sizes; right: conventional Al6061 [5 nm rms]).

Abb. 3: Prozesskette für die Fertigung von Metallspiegeln für den Einsatz bei verschiedenen Wellenlängen.

Fig. 3: Process chain for metal mirrors in different fields of application.

