



Alexandre Gatto

Motivation

Gegenwärtige Optikentwicklungen zeichnen sich durch eine immer höhere Schaltgeschwindigkeit und Integrationsrate bei der Erzeugung, Modulation, Führung und Detektion von Licht aus. So konzentrieren sich jüngste Entwicklungen auf die mikro-mechanische Miniaturisierung optischer Elemente durch die Nutzung nanostrukturierter aktiver optischer Komponenten. Die Synergie mikro-elektro-mechanischer Systemtechnologien mit der Optoelektronik führt zu integrierten Mikrosystemen mit neuen Möglichkeiten und großem Anwendungspotential in naher Zukunft. So finden zum Beispiel mikro-opto-elektro-mechanische Systeme schon heute Anwendungen in der Mikrosensorik, Optikspeicherung, Video- und Datenprojektion, adaptiven Phasenfrontoptik und Telekommunikation.

Mikromechanikspiegel formen eine ebene Oberfläche auf einem CMOS-Schaltkreis (Abb. 1). Jeder Spiegel wird in Drehgelenken gehalten. Eine zwischen Spiegel und der darunter liegenden elektronischen Adresselektrode angelegte elektrische Spannung führt wegen der elektrostatischen Kräfte zur Verkipfung des Spiegels (Abb. 2).

Die moderne UV-Lithographie nutzt Mikromechanikspiegel als Basis einer neuen Generation von Fotomasken (Spatial Light Modulators), um die Geschwindigkeit der optischen Lithographie mit der Hochauflösung der Elektronenstrahlolithographie zu vereinen. Potentielle Anwendungen für derartige UV-Mikrospiegelarrays ergeben sich in der Halbleiterindustrie als maskenloses Lithographieverfahren – eine schnellere und kosteneffektivere Technologie als die herkömmliche optische und Elektronenstrahl-Lithographie [1], [2].

Prototypentwicklung

Die Realisierung von Mikrospiegelsystemen ist extrem anspruchsvoll. Dies gilt vor allem für den UV- und VUV-Spektralbereich, in dem optische Materialien eine hohe Absorption aufweisen und bei Bestrahlung zerstört werden können. FuE-Aktivitäten im Fraunhofer IOF konzentrieren sich daher auf die Realisierung hochreflektierender Schichtdesigns zur Herstellung defektfreier Beschichtungen für Mikrospiegelarrays, wobei sich die Anforderungen an die Schichtsysteme von denen für klassische DUV/VUV- und EUV-Lithographieanwendungen unterscheiden.



Abb. 1:
Spatial Light Modulator im Betrieb
(Fraunhofer IPMS).

Fig. 1:
Spatial Light Modulator in action
(image from Fraunhofer IPMS).

Coatings for micro-mirror arrays

Alexandre Gatto, Minghong Yang, Joerg Heber, Norbert Kaiser

Motivation

Optics today is largely concerned with the generation, modulation, guidance and detection of light at continually faster switches and higher rates of integration. Indeed, recent developments have focused on the miniaturization of physical optical elements by micro-machining with the emergence of engineered nanostructure-based active optical components. This synergistic combination of micro-electro-mechanical system technologies and opto-electronics has evolved into a class of integrated micro-systems with brand new application domains and huge expectations for opportunities in the near future. For example, micro-optical-electro-mechanical systems have already found sound positions in a wide range of fields such as micro-sensors, optical storage, video and data projection displays, adaptive phase front correction optics, lab-on-chip and telecommunications. Technically, micro-actuated mirrors form the flat surface of a CMOS circuit (fig.1). Each mirror is suspended by torsional hinges. An electric voltage is applied between the mirror surface and the underlying address electrode causing the mirror to tilt due to electrostatic forces (fig. 2).

Even modern UV-lithography employs micro-mechanical mirrors as the basis of new photomask generation technology (Spatial Light Modulator) that seeks to unify laser productivity with e-beam high-resolution technology characteristics. Potential applications for such UV micro-mirror arrays are direct writing systems for semiconductors (maskless lithography), making the production quicker and cheaper than existing laser and e-beam technologies [1], [2].

Prototypes development

However such systems require high light-handling abilities, particularly in the UV and VUV range where materials absorb and electromagnetic radiation is potentially damaging. At the Fraunhofer IOF, research activities focused on coating development for micro-structured mirrors concentrate on high-reflecting designs for the realization of defect free actuated micro-mirror coatings. Since micro-mirror arrays are inherently 2-dimensional but on a nanometric scale, requirements are different to those for optical systems used for the DUV/VUV-EUV spectral range (designed for the lithography).



Minghong Yang



Joerg Heber



Norbert Kaiser

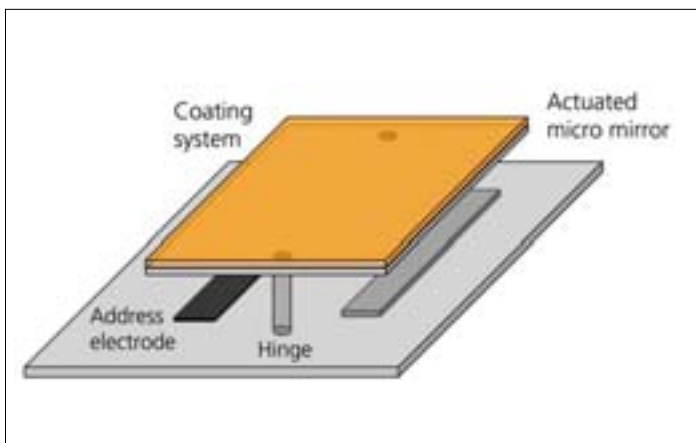


Abb. 2: Beispiele für montierte Mikrospiegel.

Fig. 2: Examples of actuated micro-mirrors. Schematic sketches.



Die besondere Herausforderung besteht in der definierten Abscheidung hochreflektierender und schichtspannungsfreier Systeme. Da Mikrospiegelarrays in einer MOEMS-Umgebung mit entsprechenden Anforderungen an optische sowie mechanische Eigenschaften und in Kompatibilität mit der elektronischen Struktur eingesetzt werden, müssen auch die Beschichtungen mit der CMOS-Struktur kompatibel sein.

Das Fraunhofer IOF arbeitet als Partner einer „Wirtschaftsorientierten Strategischen Allianz – WISA“ zusammen mit dem Fraunhofer IPMS, Fraunhofer IWS und dem Fraunhofer IZFP. Hierbei leitet das Fraunhofer IOF das Arbeitspaket „Optik“ mit dem Ziel der Realisierung hochreflektierender und defektfreier Beschichtungen für Mikrospiegelarrays.

Dielektrische sowie metallische Systeme wurden im NIR, VIS, UV und VUV untersucht. Oxidische und fluoridische Schichtmaterialien wurden in Hinblick auf ihre CMOS-Kompatibilität sowie ihre optischen und mechanischen Eigenschaften analysiert.

Für den VUV-Spektralbereich wurden metallische Systeme mit Deckschutzschichten entwickelt, die mit verschiedenen Beschichtungsverfahren, wie Elektronenstrahlverdampfung und Magnetronspütern, abgeschieden wurden. Reflektivitäten von $R > 91\%$ bei einer Wellenlänge von 193 nm und $R = 90\%$ bei einer Wellenlänge von 157 nm wurden mit Schichtsystemen auf Aluminium-Basis realisiert. Wie in Abb. 5 gezeigt, wird eine hohe Reflektivität bis 150 nm Wellenlänge erreicht, was wichtig für eine Anwendung bei beiden Wellenlängen ist.

Somit müssen Beschichtungen für Mikrospiegelarrays eine Vielzahl von Anforderungen hinsichtlich der Prozessentwicklung erfüllen. Dazu zählen die CMOS-Kompatibilität, eine Spannungsoptimierung der Schichtsysteme, um die Ebenheit der Spiegel zu garantieren, sowie die Minimierung von Schichtdefekten (Abb. 3, 4, 5).

Literatur:

- /1/ Sandström, T.; Ljungblad, U.B.; Dürr, P.; Lakner, H.: „High-performance laser pattern generation using spatial light modulators (SLM) and deep-UV radiation“, Proceedings of SPIE, Vol. 4343 (2001) 35.
- /2/ „MEMS and the mask muddle: small isn't cheap“, Small Times Correspondent, July 11, 2003; www.smalltimes.com.

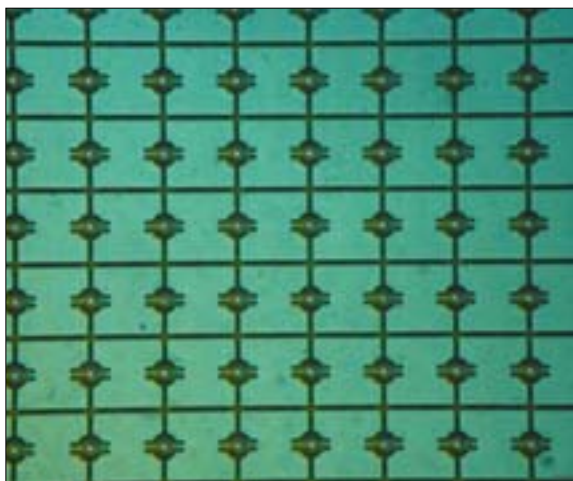


Abb. 3:
Aufnahme von $16 \times 16 \mu\text{m}$ Spiegelarrays
(Nomarski Mikroskop).

Fig. 3:
Normaski microscope image of $16 \times 16 \mu\text{m}^2$
mirror arrays.

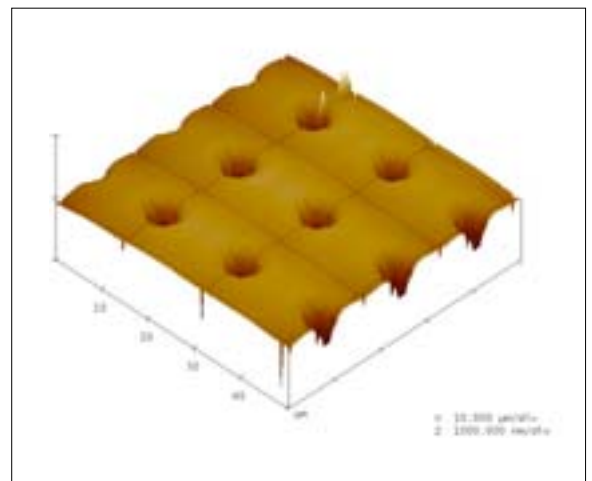


Abb. 4:
Rasterkraftmikroskopische Aufnahme
eines beschichteten Mikrospiegelarrays.

Fig. 4:
Atomic force microscopy of a coated micro-mirror array.

This consequently challenges optics development to provide smart compatible solutions with minimized coating-stress and optimised optical performances. Since micro-structured mirrors must operate in an MOEMS environment with high requirements concerning optical and mechanical properties, clean atmosphere and cohabitation with the electronic structure and micro-mechanical mirror coatings must be designed to be compatible with CMOS structure.

The Fraunhofer IOF is part of an economically based strategic alliance (Wirtschaftsorientierte Strategische Allianz – „WISA“) called „Next Generation Micromechanical Mirrors“ in association with three Fraunhofer institutes (Fraunhofer IPMS, Fraunhofer IWS and Fraunhofer IZFP). The Fraunhofer IOF leads the optical task that targets the development of high reflection, defect free coatings on micro-mirror arrays.

Dielectric multilayers and metal systems are investigated for the NIR, VIS, UV and VUV ranges. With regard to dielectric multilayers, oxides and fluoride materials are analysed for CMOS compatibility, for accumulated stresses and optical and physical properties. For the VUV range, metal systems have been developed with various technologies such as thermal evaporation and magnetron sputtering with proactive capping layers. Reflectivity above 91 % is achieved at 193 nm and reflectivity around 90 % is reached at 157 nm with thin and low stress aluminium-enhanced reflection systems. As shown in Fig. 5, a broadband high reflectivity is available up to 150 nm, which is of great interest for applications at both wavelengths.

Thus, coatings for micro-mirror arrays have to tackle numerous issues related to the complete development of the process, merging CMOS compatibility and induced stress control in order to guarantee a surface flatness and a defect minimized structure (fig. 3, 4, 5).

References:

- /1/ Sandström, T.; Ljungblad, U.B.; Dürr, P.; Lakner, H.: „High-performance laser pattern generation using spatial light modulators (SLM) and deep-UV radiation“, Proceedings of SPIE, Vol. 4343 (2001) 35.
- /2/ „MEMS and the mask muddle: small isn't cheap“, Small Times Correspondent, July 11, 2003; www.smalltimes.com.

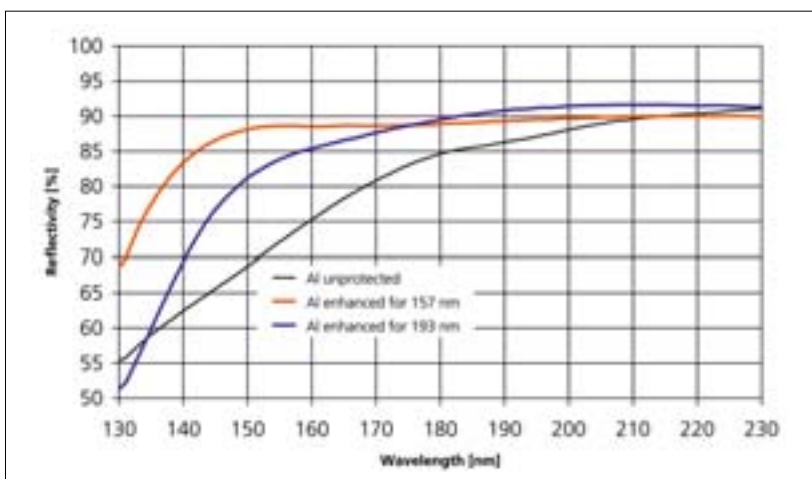


Abb. 5:
Aluminium-System erweitert für 157 nm und 193 nm auf Si-Substrat.
Vergleich mit ungeschützter Al-Schicht,
Gesamtdicke < 100 nm, gesamte Spannung < 150 Mpa.

Fig. 5:
Enhanced aluminium system for 157 nm and 193 nm on Si substrate.
Comparison with unprotected aluminium coating.
Total thickness < 100 nm. Total stress < 150 Mpa.