

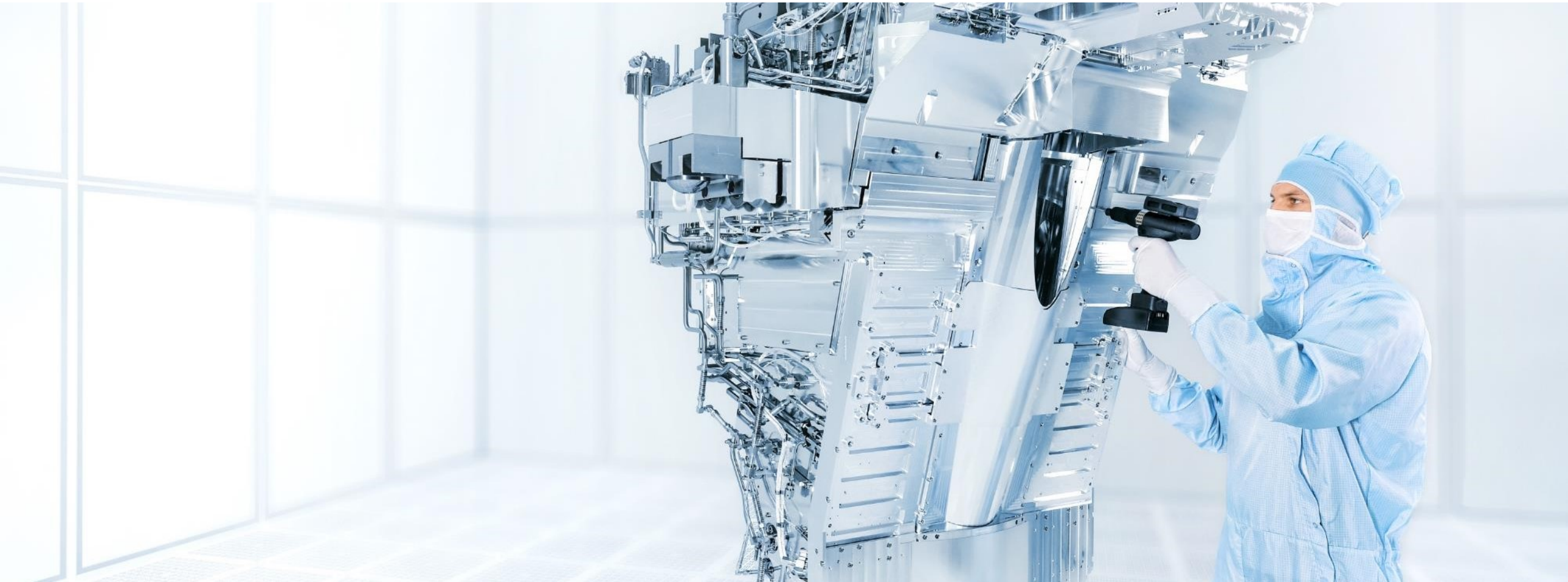
ZEISS Semiconductor Manufacturing Technology

Hochpräzise Optiksysteme für die Halbleiterfertigung



Dr. Johannes Reimann
johannes.reimann@zeiss.com
Architekt für
Strukturierungsprozesse

15. März 2023



ZEISS Weltweit

Mitarbeitende (gerundet)

38.700

Standorte weltweit (gerundet)

100

Länder (gerundet)

50

Umsatz in Milliarden €

8,8

 **Zentrale:
Oberkochen, Deutschland**

Mitarbeitende inkl. Zentralfunktionen/Servicebereiche
Stand: 30. September 2022

ZEISS-Sparten – Mit Lösungen die Zukunft gestalten

Semiconductor
Manufacturing
Technology



2,757 Milliarden € Umsatz

6.215 Mitarbeitende

Industrial
Quality & Research



2,066 Milliarden € Umsatz

7.534 Mitarbeitende

Medical
Technology



2,251 Milliarden € Umsatz

6.829 Mitarbeitende

Consumer
Markets



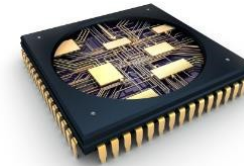
1,569 Milliarden € Umsatz

13.008 Mitarbeitende

80% aller Chips basieren auf ZEISS Technologie



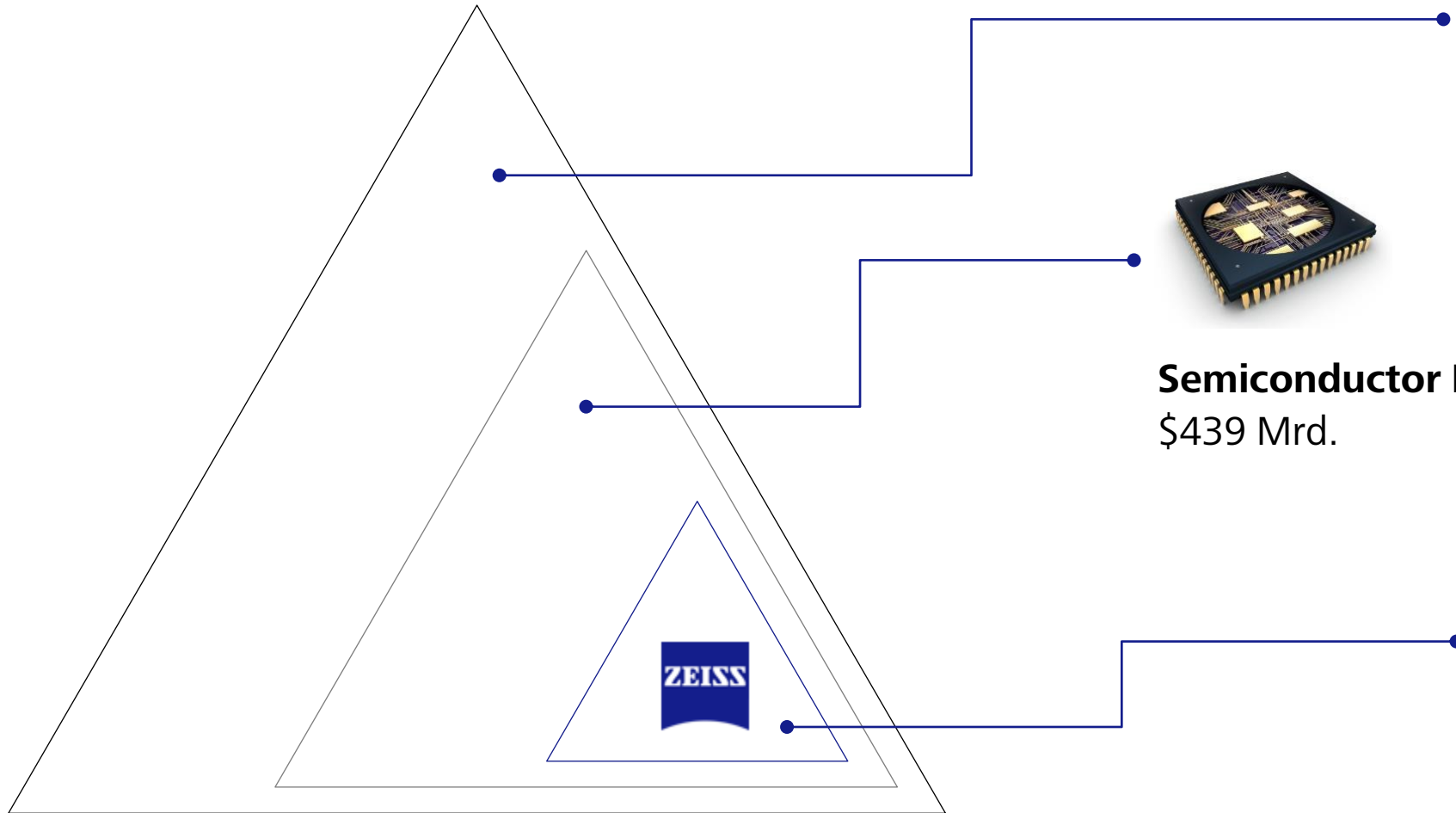
Electronics Production
\$1994 Mrd.



Semiconductor Production
\$439 Mrd.



Wafer Fab Equipment
\$55 Mrd.



Standorte und Mitarbeitende

Mitarbeitende

6.215

davon 30% in
Forschung und
Entwicklung

Standorte

7

weltweit in 3 Ländern



Hauptsitz:
Oberkochen, Deutschland



Heute Technologien von morgen ermöglichen

Technologietrends wie Autonomes Fahren, 5G oder Künstliche Intelligenz stellen enorme Ansprüche an die Rechenkapazität und Leistungsfähigkeit von IT-Systemen.

Eine Voraussetzung zur Miniaturisierung von Chipstrukturen ist Licht. Mithilfe seiner optischen Systemen für die Belichtung befähigt ZEISS Chiphersteller weltweit und ist Taktgeber für Digitalisierung.



Die Zukunft in neuem Licht EUV-Lithographie

Mehr als **25** Jahre Forschung & Entwicklung

Netzwerk mit über **1.200** Partnern

Mehr als **2.000** Patente

Seit **2018** modernste Chips von Samsung
und TSMC auf dem Massenmarkt



Wellenlänge, Wellenlänge, Wellenlänge

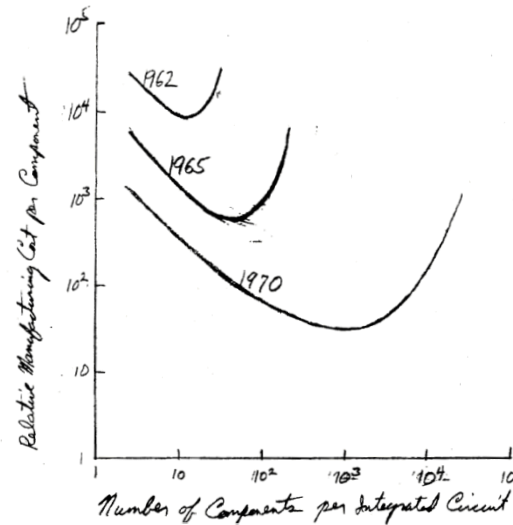
Der größte Hebel, die Auflösung
signifikant zu verbessern, liegt in der
Verkürzung der Wellenlänge

Annahme: $k_1 = 0,5$, $NA = 0,33$

DUV: CD 292 nm @193 nm

EUV: CD 20 nm @13,5 nm

Moore'sches Gesetz (1965)



Gordon Moore

Abbe-Gleichung (1873)

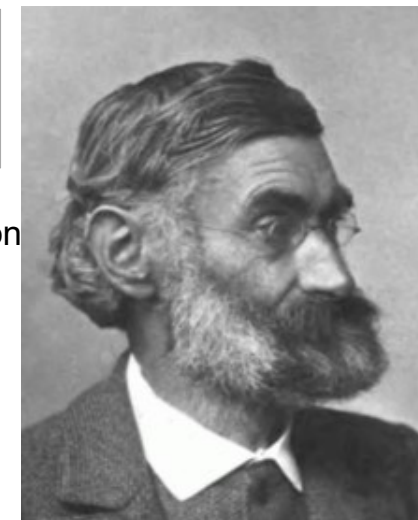
$$CD = k_1 * \frac{\lambda}{NA}$$

CD ... Auflösung / Critical Dimension

k_1 ... Prozessfaktor

λ ... Wellenlänge

NA ... Numerische Apertur

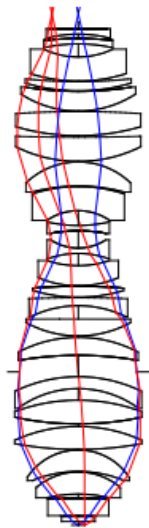


Ernst Abbe

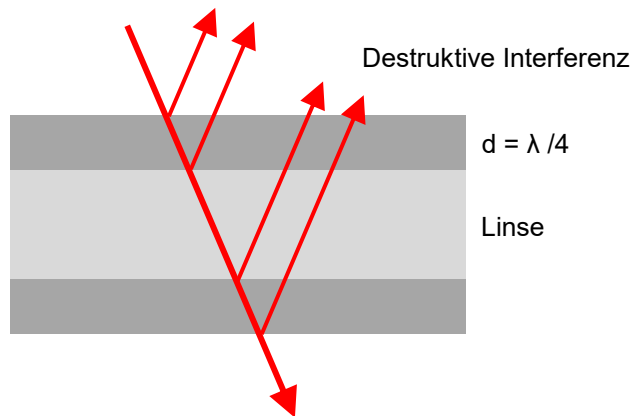
Aus Transmission wird Reflexion

DUV, 193 nm

z.B. 22 Linsen, 44 Flächen



Anti-Reflex-Beschichtung



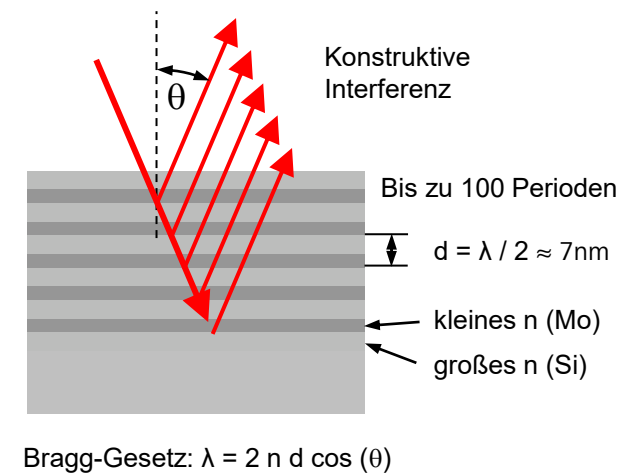
→ Transmission $> 0.99^{44} = 64.3\%$

EUV, 13.5 nm

z.B. 6 Spiegel

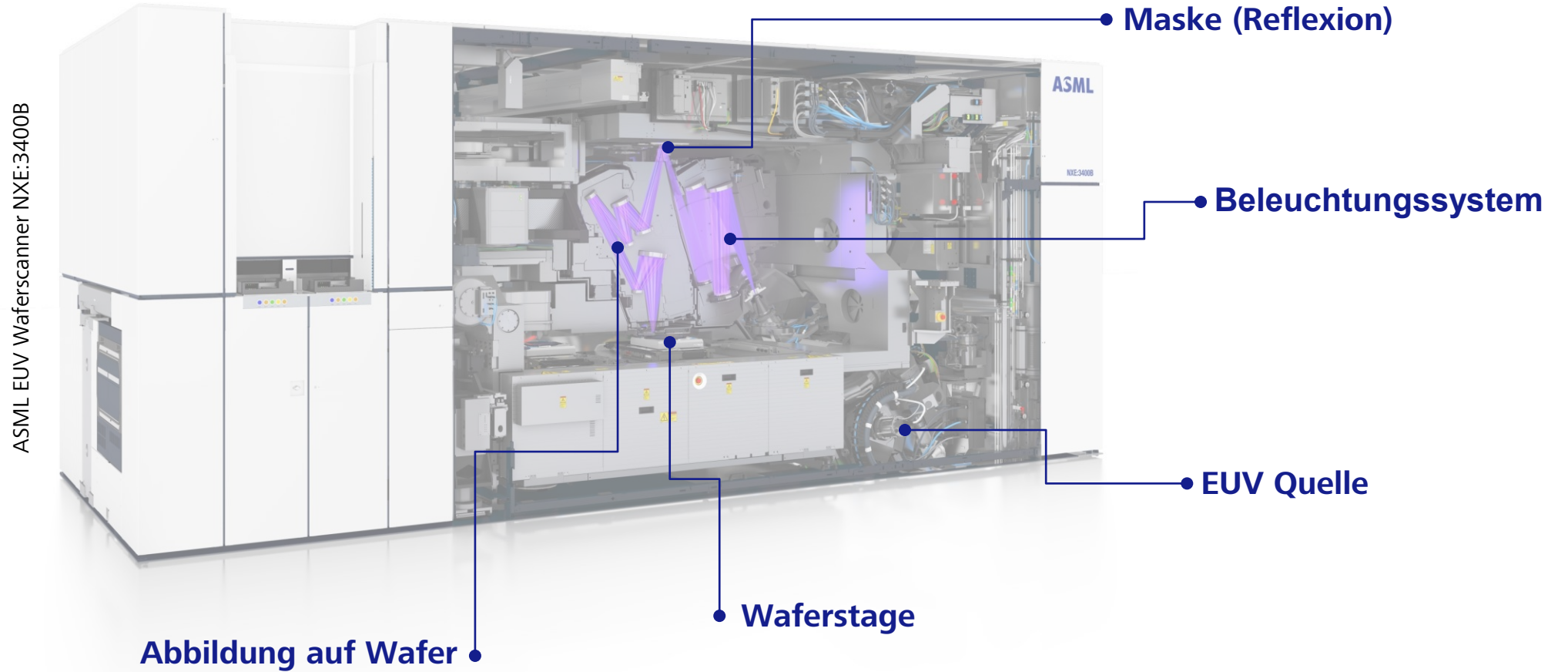


Verspiegelung



→ Reflexion = $0.7^6 = 11.8\%$

Der Strahlengang



Präzise Optiken für präzise Strukturen



Der präziseste Spiegel der Welt: Wenn wir einen EUV-Spiegel auf die Größe Deutschlands vergrößern würden, wäre die **größte Unebenheit gerade einmal 0,1 Millimeter** hoch.

Oberflächenbearbeitung und Messtechnik als Einheit

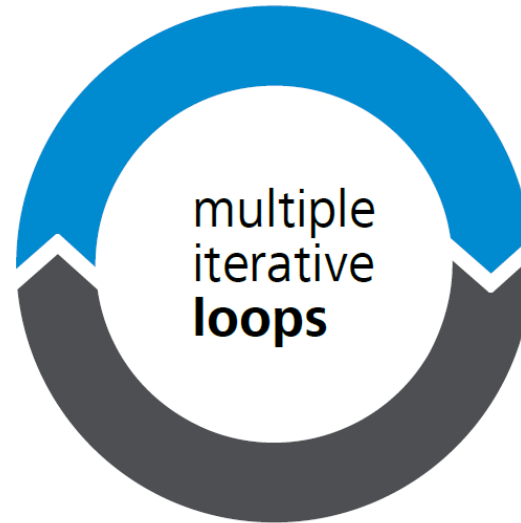


Computer Controlled Polishing



Ion Beam Figuring

Figuring process



Highly accurate metrology



Surface Metrology

Bei ZEISS hat die Zukunft schon begonnen

Auszug aus <https://www.asml.com/en/products/euv-lithography-systems>

Die Entwicklung der **nächsten Generation an EUV-Systemen** hat schon begonnen

CD-Verbesserungen durch **Erhöhung NA** bei konstanter Wellenlänge

What's next after EUV NXE? Reaching High-NA



To enable further innovation in chip manufacturing, we're developing a next-generation EUV platform that increases the numerical aperture (NA) from 0.33 to 0.55 ('High-NA').

The High-NA platform, called 'EXE', has a novel optics design and significantly faster wafer and reticle stages. It will enable geometric chip scaling well into the next decade. The EXE platform has been designed to enable multiple future nodes, starting at the 2 nm Logic node and followed by Memory nodes at similar density.

Development of this next-generation platform is ramping up, with first shipments of High-NA systems to customers for R&D purposes expected to take place at the end of 2023. EXE high-volume

Abbe-Gleichung (1873)

$$CD = k_1 * \frac{\lambda}{NA}$$

CD ... Auflösung / Critical Dimension

k_1 ... Prozessfaktor

λ ... Wellenlänge

NA ... Numerische Apertur



Ernst Abbe

Steigende Komplexität

3400 - Beleuchtungssystem



0.8 m

1.6 m

1.6 m

1.2 m

Gewicht: ~ 1,6 t
Einzelteile: ~ 18.000

High-NA - Beleuchtungssystem



2.3 m

2.9 m

~ 10 t
~ 44.000

Große Messtechnik für kleine Strukturen



• Vakuunkammer (50 t)

• Mess-Equipment (70 t)

• Mensch

Zeiss SMT: Push the limits

Beschichtung

Funktionsschichten müssen hochpräzise abgeschieden werden

Messtechnik

Vermessung großer Flächen auf atomarer Basis

Computer Vision / Maschine Learning / Big Data

Petabytes an Messdaten pro Spiegel

Reinigung

EUV erfordert höchste Sauberkeit

Optikdesign

Maximale Effizienz durch minimale Spiegelanzahl

Konstruktion

präzise Mechanik mit höchster Stabilität



Erfolgreiche Kooperation mit Partnern aus Forschung und Industrie – gefördert durch die Europäische Union und die Bundesrepublik Deutschland



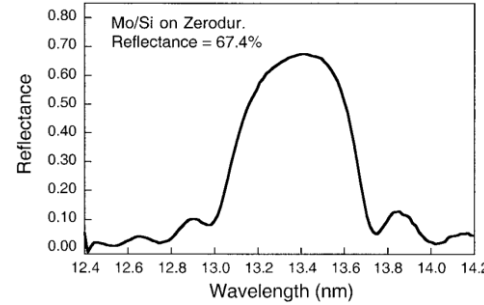


Seeing beyond

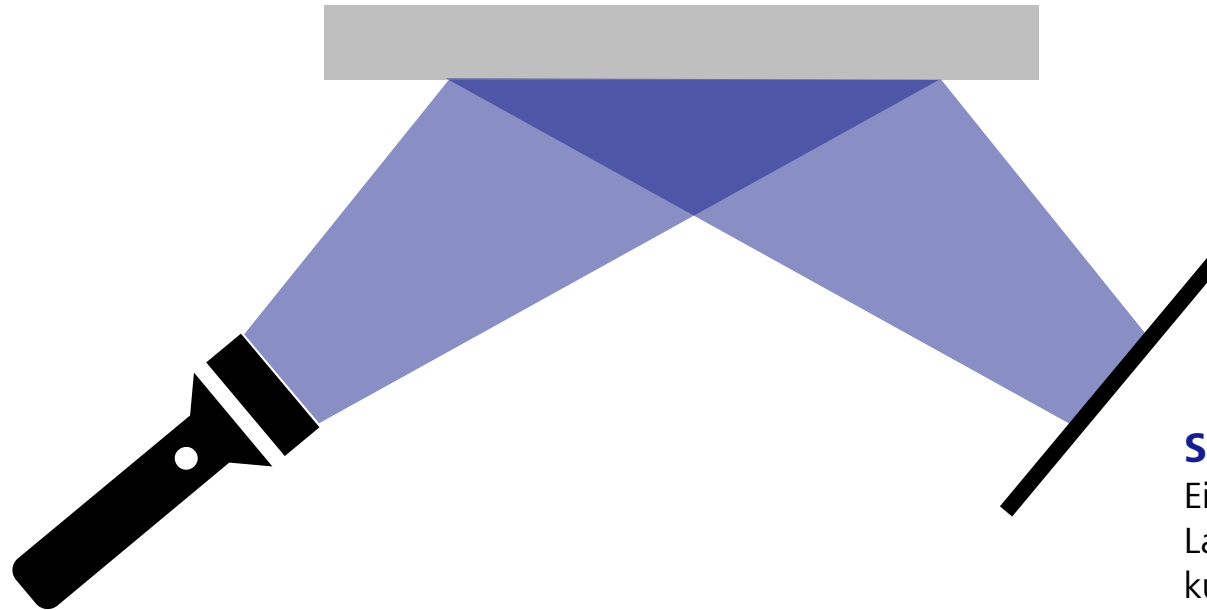
Warum 13,5 nm?

Reflexion

erzeugtes Licht muss
möglichst effizient
reflektiert werden



Quelle: Mirkarimi, Paul et al.
Applied optics. 39. 1617-25.
10.1364/AO.39.001617.



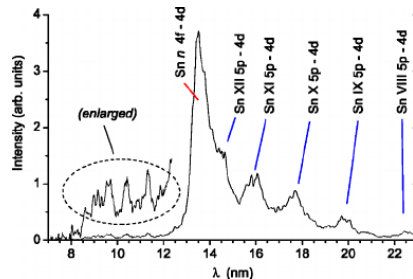
Strukturierung

Ein fotolithographisches
Lacksystem muss für diese
kurzen Wellenlängen
entwickelt werden

Erzeugung

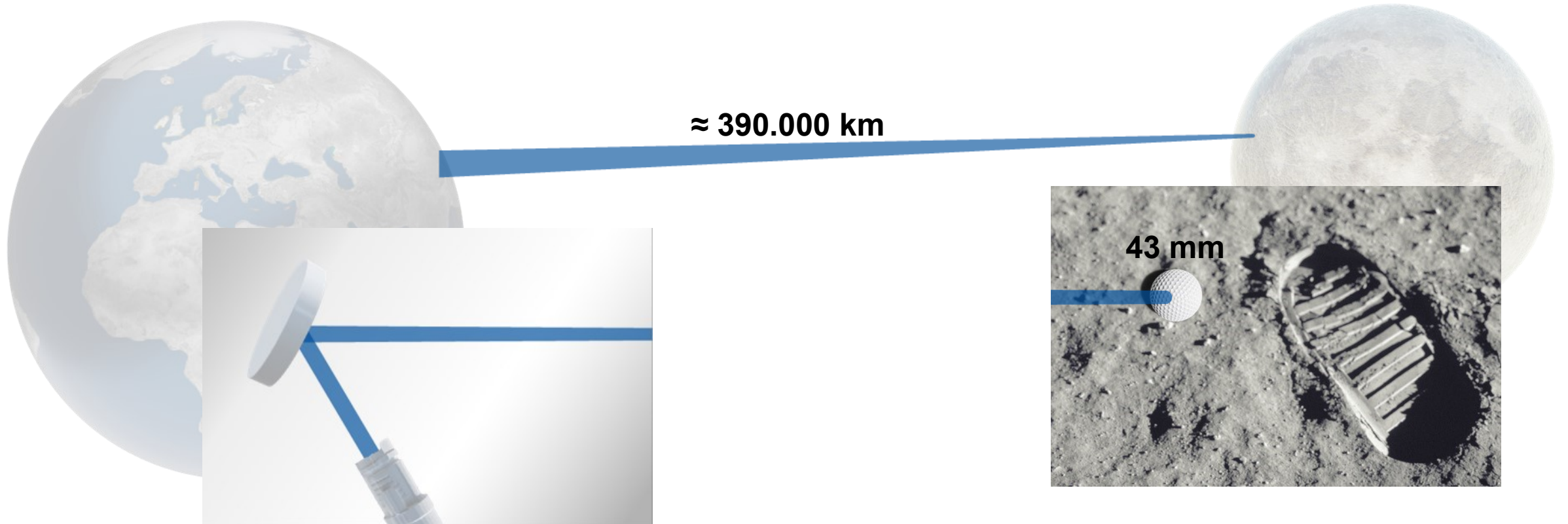
extrem kurz-welliges Licht muss
über Hochtemperatur-Plasmen
erzeugt werden

→ Zinnspektrum



Quelle: Kieft, E et al.,
PhysRevE.71.026409

Präzise Mechanik für präzise Strukturen



Reflexionsperfektion: Sensoren und Aktuatoren in der ZEISS Projektionsoptik arbeiten so präzise, dass man mit dem umgelenkten Laserstrahl einen **Golfball auf der Mondoberfläche** trafe.