

Impressum

ISBN: 978-3-446-47389-8

© 2022 Hanser Corporate im Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

Herausgegeben von der Carl Zeiss AG

Autor:
Stephan Paetrow (timefab), Leipzig

Gesamtproduktion:
CPI Ebner & Spiegel, Ulm

Gesamtgestaltung:
die superpixel, Leipzig

Redaktionsbeirat:
Dieter Kurz, Hermann Gerlinger, Gerhard Ittner, Winfried Kaiser

Interviews und Projektbegleitung:
Wolfgang Wimmer (ZEISS Archiv)

Lektorat:
Gudrun Vogel, Jürgen Dubau, Karin Bayha

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk, einschließlich seiner Teile,
ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist unzulässig.
Dies gilt auch für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung und
öffentliche Zugänglichmachung.

Gender Disclaimer:
In diesem Buch wird für die Nennung von Personen oder Personengruppen
meist sowohl die weibliche als auch die männliche Form oder eine neutrale
Formulierung verwendet. Auch in den Fällen, in denen dies aus Gründen der
besseren Lesbarkeit nicht umgesetzt wurde, sind immer alle Geschlechter
gemeint.



Inhalt

VORWORT

ZEISS SMT

Wegbereiter für das Informationszeitalter
von Dieter Kurz

7

1964–1978

Von der Ostalb an die Westküste

Die Anfänge der ZEISS Lithographieoptik

14

1979–1986

Zwischen Handwerk und Hightech

ZEISS als Zulieferer für GCA

38

1986–1989

Das Megachip-Rennen

Vom Europaobjektiv zu JESSI

58

1989–1994

In die Zukunft oder zurück?

Der Geschäftsbereich HL und die Krise von ZEISS

74

1995–1999

Motor für Wachstum und Beschäftigung

Reinnovation von HL

96

INTERVIEW

„Es geht um Geschwindigkeit“

Im Gespräch mit Martin van den Brink, ASML

122

2000–2009

Zukunftsfabrik auf der grünen Wiese

ZEISS SMT zwischen Wachstum und Konjunkturkrisen

130

2010–2021

The Next Generation

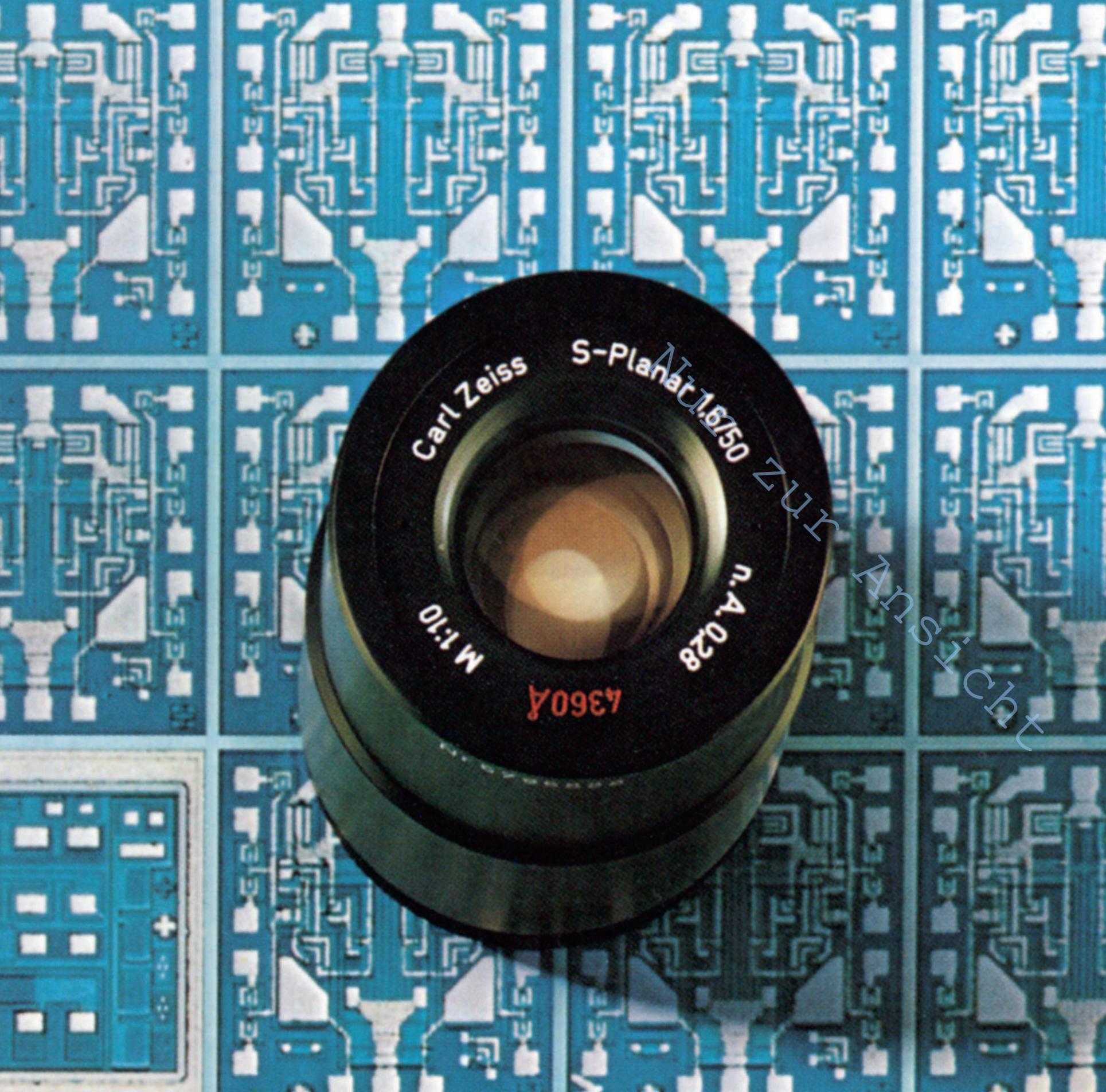
Warten auf EUV und der Schritt in die Zukunft
der optischen Lithographie

162

Anhang

Infografiken / Anmerkungen / Bildnachweis /
Danksagung

188



1964
— BIS —
1978

Das S-Planar 1,6/50 (Typnummer 10 77 82) mit einer numerischen Apertur von 0,28 für eine Wellenlänge von 436 Nanometer (blaues Licht, g-Linie) war das weltweit erste kommerzielle Stepper-Objektiv.



Für diese Maschine zur 1:1-Projektionsmaskierung (Typ 689, Ende der 1960er Jahre) nutzte AEG-Telefunken Objektive von ZEISS, konkret das S-Planar 2/200 mit einer numerischen Apertur von 0,125 (Typnummer 10 77 18 für die Wellenlänge 436 Nanometer beziehungsweise 10 77 19 für die Wellenlänge 405 Nanometer). Vertrieben wurden die Geräte durch den US-amerikanischen Marktführer Kulicke & Soffa.

Von der Ostalb an die Westküste

Die Anfänge der ZEISS Lithographieoptik

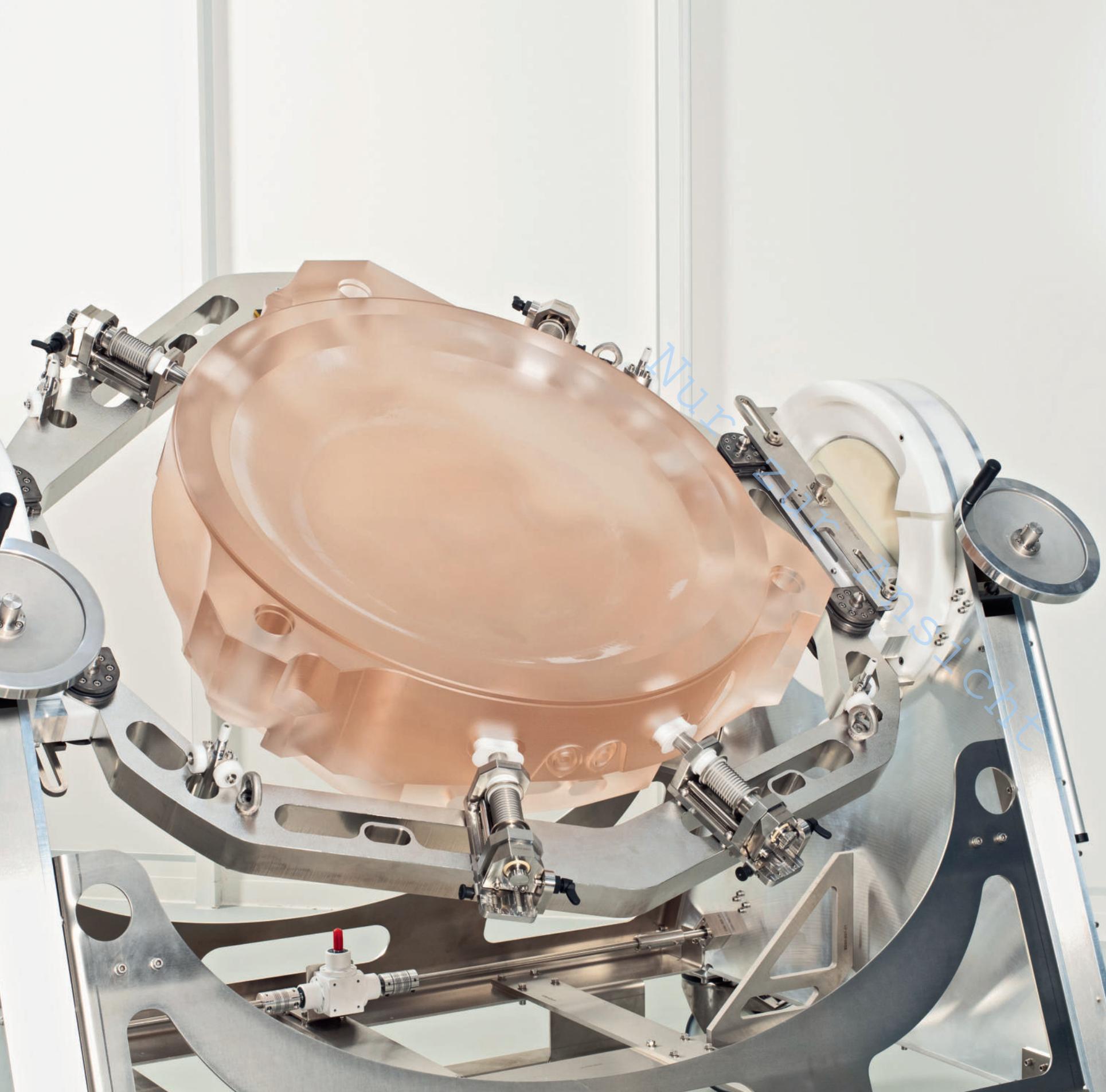
Thomas J. Watson, der CEO von IBM, soll 1943 gesagt haben: „I think there is a world market for maybe five computers.“ Es bleibt zweifelhaft, ob Watson sich wirklich zu dieser spektakulären Fehlprognose hinreißen ließ, aber eines ist klar: Selbst die Pioniere des Informationszeitalters haben den späteren Siegeszug des Computers nicht vorhergesehen. Mitte der 1940er Jahre waren Computer extrem groß und teuer. Der Betrieb eines einzelnen Systems erforderte jede Menge Personal. Niemand wäre auf die Idee gekommen, ein solches Ungetüm im eigenen Zuhause aufzustellen, und selbst für die meisten Unternehmen war es unvorstellbar, in einen experimentellen Großrechner zu investieren. Als Kunden kamen damit vor allem diejenigen in Frage, für die wirtschaftliche Erwägungen eine untergeordnete Rolle spielten: Forschungseinrichtungen und das Militär. Der erste Universalrechner namens ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*), der am 10. Dezember 1945 seine Arbeit aufnahm, diente primär dazu, ballistische Kalkulationen für die US-Army auszuführen. Jedenfalls dann, wenn er funktionierte. Denn die 27 Tonnen schwere Maschine war mit rund 20.000 Röhren und etwa fünf Millionen handgelöteten Verbindungen derart unzuverlässig, dass der Zeitaufwand für Wartung und Reparaturen ungefähr gleichauf mit der Nutzungsdauer lag.

Die Voraussetzungen dafür, dass Computer ihren Siegeszug vom Labor über das Rechenzentrum bis auf

jeden Schreibtisch und in jede Hosentasche antraten, wurden geschaffen, als 1947/48 in den USA und kurze Zeit später auch in Europa die ersten funktionsfähigen Transistoren auf Halbleiterbasis entwickelt wurden. Diese konnten die vergleichsweise unzuverlässigen Vakuumröhren in Computern ersetzen. Doch noch immer bestanden elektronische Rechenanlagen aus einzelnen Bauelementen, welche miteinander verlötet werden mussten. Der Aufbau aus Einzelteilen machte es unmöglich, hochkomplexe Schaltungen zu bauen, die nebenbei kompakt, preisgünstig und zuverlässig waren. Dieses Dilemma verhinderte die weitere Verbreitung des Computers, bis schließlich am 7. Mai 1952 der britische Ingenieur Geoffrey Dummer auf dem Podium des *Symposium on Progress in Quality Electronic Components* in Washington D.C. eine Vision formulierte, die zum Funken für eine ganze Industrie werden sollte:

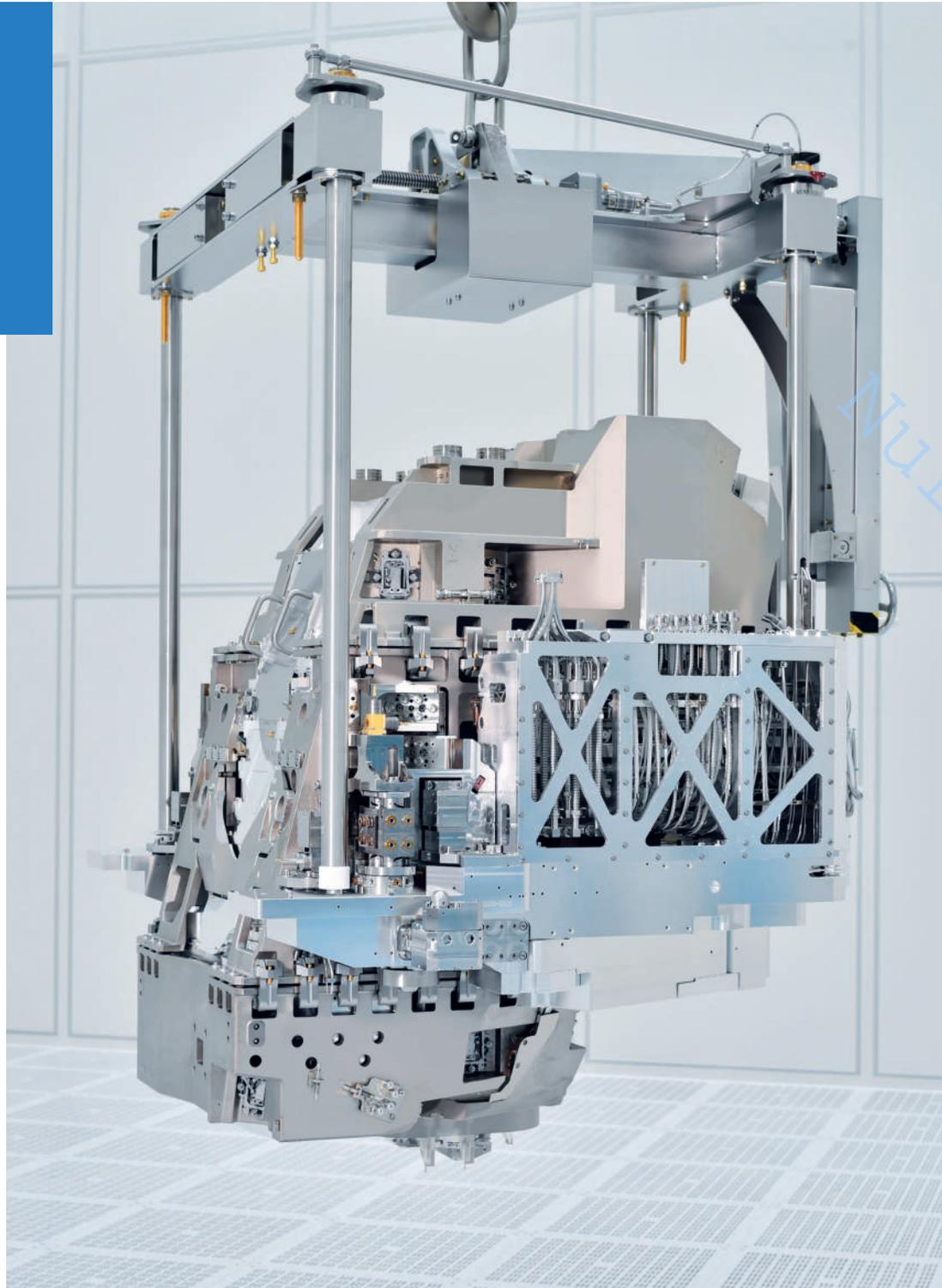
„Mit dem Aufkommen des Transistors und angesichts der Arbeit, die im Bereich der Halbleitertechnologie geleistet wurde, sind heute elektronische Geräte vorstellbar, die nur aus einem soliden Block ohne Verdrahtung bestehen.“¹

Dummer machte keine Angaben dazu, wie er diese Idee umsetzen wollte. Doch der Ansatz wurde von zahlreichen Forschungsgruppen aufgegriffen.



2010
— BIS —
2021

Blick in die Zukunft: Die Herstellung der Spiegel für High-NA-EUV-Waferscanner zählt aufgrund der großen Dimensionen und der extremen Anforderungen an die Präzision der Oberflächen zu den anspruchsvollsten Aufgaben in der gesamten optischen Industrie. ZEISS ist weltweit der einzige Hersteller, welcher Objektive für die nächste Evolutionsstufe der optischen Lithographie entwickelt.



Die sogenannte *Projection Optics Box* (POB) des Starlith® 3400. Da alle verfügbaren Linsenmaterialien das kurzwellige EUV-Licht (13,5 Nanometer) absorbieren, ist das gesamte System mit Spiegeln statt Linsen ausgeführt. Insofern weist es äußerlich kaum noch Ähnlichkeiten mit älteren Lithographieobjektiven auf.

The Next Generation

Warten auf EUV und der Schritt in die Zukunft der optischen Lithographie

Als die Arbeiten am sogenannten *EUV Alpha Demo Tool* im Jahr 1999 begonnen hatten, war man davon ausgegangen, 2007 in die Massenfertigung von Chips mittels EUV-Lithographie einzusteigen. Damals hatten sich ASML und ZEISS im Wettlauf mit SVGL in den USA und mit Canon und Nikon in Japan befunden, und die Zeit drängte. Ende der 2000er Jahre stiegen die japanischen Wettbewerber aus der EUV-Entwicklung aus, und SVGL saß seit der Übernahme durch ASML mit ZEISS in einem Boot. Die ‚Lebensdauer‘ der 193-Nanometer-Lithographie war durch Immersion und *multiple patterning* um rund zehn Jahre verlängert worden, während sich die Serienreife von EUV aufgrund großer technologischer Hürden weiter verzögerte. Hier stellt sich die Frage, warum SMT und ASML nicht einfach beschlossen, sich auf den Lorbeeren der eigenen Marktführerschaft auszuruhen und teure Neuentwicklungen langsamer voranzutreiben. Immerhin stand man nach der Wirtschafts- und Finanzkrise 2008/09 als unbestrittener Marktführer da. Andreas Dorsel, Mitglied der Geschäftsführung von ZEISS SMT, begründet dies so:

„Unser Geschäft lebt von der Fortschreibung von Moore’s Law. Würden wir also auf einer erreichten Entwicklungsstufe stehenbleiben und nicht mehr daran arbeiten, die Grenzen des Machbaren zu verschieben, gäbe es für die Kunden nur noch wenig Gründe, unsere Produkte zu kaufen. Weil unsere Optiken, ebenso wie die

Maschinen von ASML langlebige Wirtschaftsgüter sind, macht das Service- und Reparaturgeschäft verglichen mit dem Neugeschäft nur einen relativ kleinen Teil unserer Umsätze aus.“¹



Andreas Dorsel, Mitglied der Geschäftsführung der Carl Zeiss SMT GmbH, beim Rundgang durch die Fertigung in Oberkochen, Dezember 2018. Hier mit einem Immersionsobjektiv des Typs Starlith® 1900i.

Vorerst gab es hier wenig Anlass zur Sorge: Nachdem SMT im Krisenjahr 2008/09 noch Umsatzeinbrüche verbucht hatte, kehrte die ZEISS Tochter 2009/10 mit fliegenden Fahnen in die Gewinnzone zurück. Haupt-

Die Entwicklung der EUV-Optik war viel aufwendiger als ursprünglich geschätzt und dauerte dementsprechend auch viel länger. Das lief nach außen im Schatten der Quellprobleme ab, intern gab es aber eine Vielzahl von Herausforderungen. Insgesamt kam EUV rund zehn Jahre später als ursprünglich vorgesehen.

WINFRIED KAISER

sächlich getragen von den Immersionsobjektiven der neuesten Generation, lag der Jahresumsatz der Carl Zeiss SMT GmbH – im September 2010 war die Umwandlung der AG in eine GmbH beschlossen worden – bei rund einer Milliarde Euro. Das war etwa doppelt so viel wie zum Zeitpunkt der Ausgliederung von SMT knapp neun Jahre zuvor. Der heutige Betriebsratsvorsitzende der Carl Zeiss SMT GmbH, Gerhard Bösner, betont, dass von der Rückkehr in die Gewinnzone auch die Belegschaft profitierte:

„In der Wirtschaftskrise hatte es bei SMT einen echten Schulterchluss gegeben: Unsere Beschäftigten leisteten ihren Beitrag zum Überleben des Unternehmens durch den Verzicht auf Weihnachtsgeld, Urlaubsgeld und auf eine Tarifierhöhung. Umgekehrt erhielten wir von der Geschäftsführung das Versprechen, dass nach überstandener Krise ein Drittel der ausgefallenen Sonderzahlungen nachträglich erstattet würden. Angesichts der hervorragenden Umsatzentwicklung zahlte SMT am Ende 100 Prozent der Einbußen und darüber hinaus einen signifikanten Jahresbonus. Für mich zeigt die Episode auch, wie sehr sich ein kooperatives Miteinander zwischen Betriebsrat und Management für die Arbeitnehmer lohnt.“²

Den beeindruckenden Kennzahlen standen große technologische Herausforderungen gegenüber, denn die EUV-Lithographie steckte in den Startlöchern fest. Nach den beiden *Alpha Demo Tools* hatte SMT 2009 die erste Optik für ein sogenanntes *Pre-product*

tion Tool fertiggestellt. Insgesamt sieben Exemplare dieser Maschine (NXE 3100) wurden gebaut und an Schlüsselkunden geliefert; das erste ging 2010 an Samsung. Doch es handelte sich zunächst nur um ein Vorseriensystem. Wirtschaftlich attraktiv konnte EUV nur sein, wenn die Systeme über längere Zeit stabil bei hohem Durchsatz liefen. Dies war nicht der Fall. Besonders die Lichtquelle des US-Spezialisten Cymer, welche die notwendige 13,5-Nanometer-Röntgenstrahlung mittels Laserbeschuss auf winzige Zinntropfen erzeugte, sorgte weiter für Probleme. Da die Chiphersteller bei ihren Investitionen jedoch fest einplanen, dass eine bestimmte Technologie zu einem definierten Zeitpunkt in der Zukunft zur Verfügung steht (die viel zitierte Roadmap), generiert der Verzug bei einem einzelnen Entwicklungsprojekt leicht eine Schockwelle, die die gesamte Branche durchläuft. Hermann Gerlinger erklärt dies mit Blick auf die EUV-Quelle:

„Wir mussten mehrmals den Ausbau unserer Kapazitäten für die optischen Systeme nach hinten schieben. Da die technische Entwicklung in unserer Branche sehr schnell voranschreitet, muss man nah am Entwicklungs- und Marktgeschehen investieren, damit nicht am Ende die falsche Technologie in der Fabrik steht. Da sich die Einführung von EUV weiter verzögerte, haben wir viel Energie in die Leistungssteigerung der 193-Nanometer-Immersionsoptiken investiert. Für Außenstehende wuchs damit freilich die Unsicherheit, ob EUV jemals zur Produktionsreife kommen werde.“³

Deep UV bleibt relevant

Mit den Verzögerungen bei EUV erhöhte sich also der Innovationsdruck auf die etablierte 193-Nanometer-Lithographie (DUV). Das Starlith® 1900i war bereits zum 1950i mit verbesserter Transmission (damit auch höherer Produktivität) und thermischer Stabilität weiterentwickelt worden. Da die EUV noch immer mit Verzögerungen kämpfte, richtete sich das Interesse darauf, die Lebensdauer des 193-Nanometer-Prozesses zu verlängern. Besonders die Entwicklung von Beleuchtungssystemen in Oberkochen

und die korrespondierende Fertigung in Wetzlar konnten hierzu beitragen. Unter der Bezeichnung *Flex Illuminator* entstand in Zusammenarbeit mit ASML ein adaptives Modul mit vielen Tausend einzeln ansteuerbaren Miniaturspiegeln (MEMS), um den Strahlengang und die Pupille im Beleuchtungssystem in Echtzeit zu beeinflussen. Gleichzeitig liefen Versuche, das Auflösungsvermögen der Objektive durch eine synthetische Immersionsflüssigkeit und hochbrechende Linsenmaterialien zu verbessern. Das Konzept stieß jedoch an materialbedingte Hürden und wurde Anfang 2009 eingestellt. Die



Mit der 2009 vorgestellten NXT-Plattform unterstrich ASML den eigenen Anspruch, die Waferscanner mit der höchsten Produktivität am Markt zu bauen. Die Weiterentwicklung trug auch der Tatsache Rechnung, dass die Halbleiterhersteller zur weiteren Verkleinerung der Strukturbreiten mehr Belichtungsschritte pro Chip benötigten (*multiple patterning*).