

Stephan Paetrow

WEGBEREITER DER DIGITALEN ZEIT

DIE GESCHICHTE DER
ZEISS LITHOGRAPHIEOPTIK

HANSER

Wegbereiter der digitalen Zeit
Die Geschichte der ZEISS Lithographieoptik

Wegbereiter der digitalen Zeit

Die Geschichte der
ZEISS Lithographieoptik

herausgegeben von der Carl Zeiss AG

Autor: Stephan Paetrow

„Der Erfolg der ZEISS Lithographieoptik ist das Werk von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die die Kompetenz und den Mut mitbringen, völlig neuartige Lösungen am Rande des technologisch Machbaren zu finden und in Produkten zu realisieren. Und es sind diese Menschen, die die Zukunft der digitalen Welt ganz entscheidend mitgestalten. Ihnen ist dieses Buch gewidmet.“

Dieter Kurz

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.



MIX
Papier | Fördert
gute Waldnutzung
FSC® C083411

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

VORWORT

ZEISS SMT

Wegbereiter für das Informationszeitalter

Vorwort von Dieter Kurz, seit 1979 bei ZEISS,
Vorstandsvorsitzender von 2004 bis 2010,
Aufsichtsratsvorsitzender von 2012 bis 2021

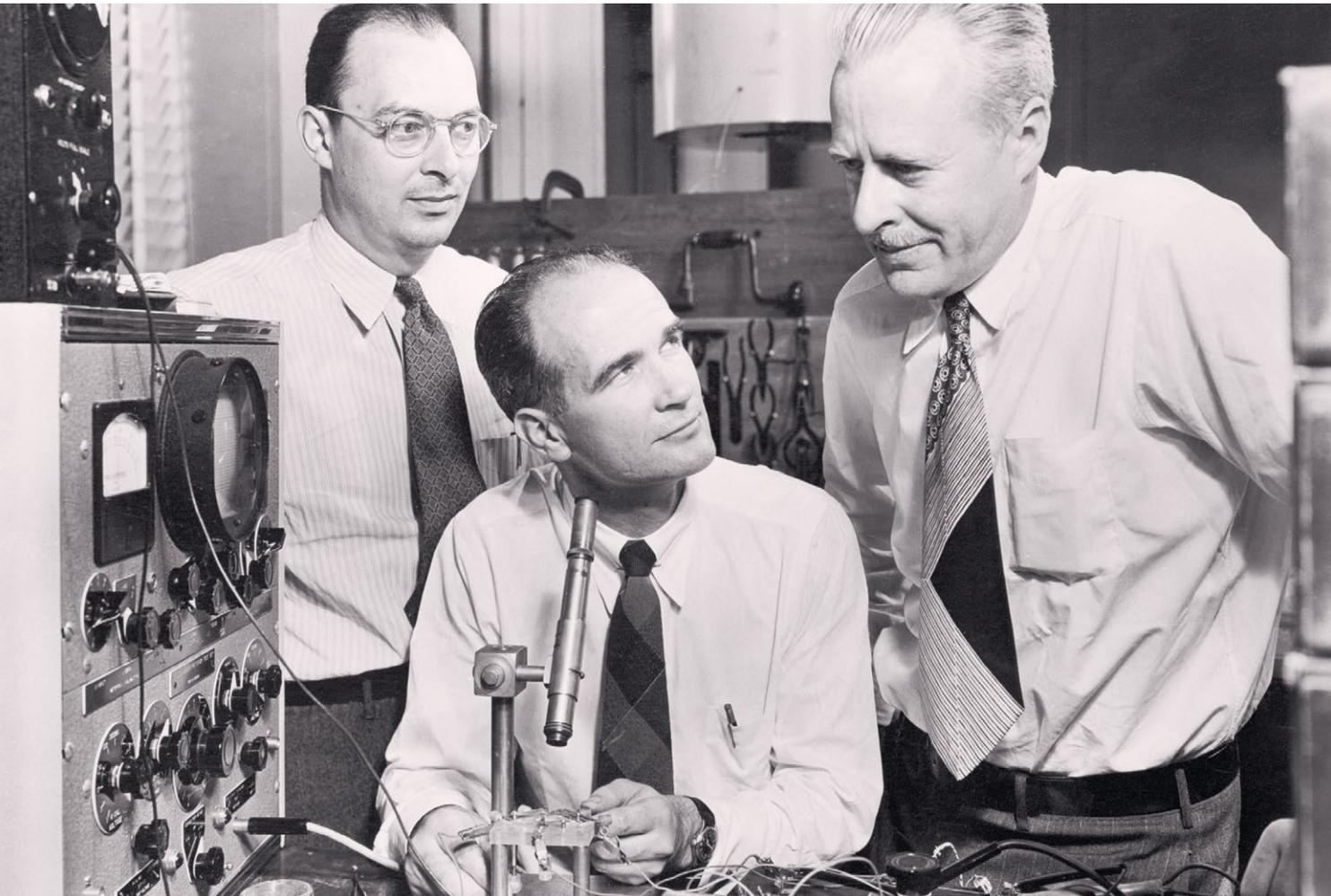
Das Informationszeitalter ist längst Teil unseres Alltags geworden. Seit Jahrzehnten arbeiten wir mit Computern, die immer leistungsfähiger werden. Das Internet vernetzt mit mächtigen Datenübertragungsraten die ganze Welt, und äußerst smarte mobile Geräte halten uns rund um die Uhr verbunden. Bald wird künstliche Intelligenz unsere Autos autonom fahren lassen, Fabriken werden intelligent produzieren, und immer neue digitale Geschäftsmodelle entstehen. Kein Wunder, dass unter den wertvollsten Unternehmen der Welt die Spitzenplätze allesamt von Firmen eingenommen werden, deren Geschäftsmodelle auf digitalen Füßen stehen: Apple, Microsoft, Alphabet (Google), Amazon und Meta (Facebook) sind nur einige Beispiele.

Als im Jahr 1948 die drei späteren Nobelpreisträger Bardeen, Brattain und Shockley den Transistor erfanden, konnte niemand erahnen, welche technologische Revolution damit ihren Anfang nehmen wird. Bereits 1965 machte der spätere Intel-CEO Gordon Moore die Beobachtung, dass die Kosten pro Schaltung kleiner werden, wenn mehr Transistoren in einem Schaltkreis integriert werden. Letztendlich sagt Moore's Law eine Verdopplung der Bauelementedichte alle zwei Jahre voraus: Damit setzte eine stürmische Entwicklung der Leistungsfähigkeit von



Dieter Kurz

Mikrochips ein, die bis heute anhält. Moore's Law definiert den Wettlauf unter den Chipherstellern: Wer zuerst eine neue Chipgeneration auf den Markt bringt, kann für seine Entwicklungskosten und Fabrikinvestitionen die besten Gewinne erlösen, wächst



John Bardeen, William Shockley und Walter Brattain, Erfinder des Transistors, im Jahr 1948.

schneller als seine Wettbewerber und hat damit den wichtigsten Hebel für weiteren Erfolg in der Hand: mehr Liquidität für Investitionen in die jeweils nächste Produktgeneration. Bill Siegle, bis 2005 Vorstand R&D bei AMD, hat es so auf den Punkt gebracht: „Alljährlich treffen sich die wichtigsten Chiphersteller, um die Technologie-Roadmap für integrierte Schaltkreise der nächsten zehn Jahre festzulegen. Am Ende, wenn wir uns einig sind, gehen wir nach Hause und sagen unseren Ingenieuren: Lasst uns schneller sein als die anderen!“

Immer wieder mussten die IC- und Equipment-Hersteller dabei neue technologische Horizonte in Design und Produktion erschließen. Und hier kommt auch

ZEISS ins Spiel: Zunächst kam es Mitte der 1960er Jahre zu einer Zusammenarbeit mit Telefunken, aus der erste Objektive für die Halbleiterbelichtung entstanden. Die US-amerikanische Firma GCA brachte 1978 als erstes Unternehmen einen Waferstepper auf den Markt. Der Name beschreibt den Vorgang, dass der zu belichtende Siliziumwafer ‚gesteppt‘ wird, um möglichst viele integrierte Schaltkreise auf einer Siliziumscheibe herzustellen. Für den sogenannten Lithographieprozess, also die Belichtung der kleinen Strukturen des integrierten Schaltkreises, setzte GCA erstmals eine hochpräzise Projektionsoptik ein und bildete die auf der Maske (*reticle*) enthaltenen Strukturen verkleinert auf dem Wafer ab. In Ermangelung eigener Expertise hatte sich GCA bereits 1973 für

eine Kooperation mit ZEISS entschieden – wegen der hervorragenden Abbildungsqualität der Objektive. Dabei war es Ende der 1970er Jahre keinesfalls selbstverständlich für ZEISS, ein Komponentengeschäft mit einem Halbleitertequipmenthersteller aus den USA zu beginnen. Die Firmenkultur passte nicht zu einem termingetriebenen Geschäft wie der Chipindustrie. Nur einzelnen Wissenschaftlern und Ingenieuren sowie Bereichsleitern bei ZEISS ist es zu verdanken, dass das relativ kleine Geschäft unter dem Dach des Geschäftsbereichs Photo existieren durfte, längerfristige Wachstumsstrategien gab es kaum.

Letztendlich kam der Hauptabnehmer GCA 1988 in wirtschaftliche Schwierigkeiten und fiel als Kunde aus. Bereits seit 1983 bestanden jedoch erste Lieferbeziehungen mit Philips, später ASML. Doch noch immer operierte die ZEISS Lithographieoptik innerhalb des Geschäftsbereichs Photo unterhalb der Wahrnehmungsgrenze im Unternehmen. Richtig schwierig wurde es dann ab 1992: Die Chipindustrie befand sich in einem tiefen Abschwung, ASML sah sich mit Finanzierungsproblemen konfrontiert, und ZEISS selbst kämpfte als Konzern ums Überleben. Die Zeichen für die Lithographieoptik standen auf Exit. Allerdings unterschied sich die Situation der Lithographieoptik inzwischen deutlich von früheren Jahren: ZEISS war mit der Entwicklung seines ersten kommerziell sehr erfolgreichen i-Linien-Objektivs mit dem japanischen Wettbewerb gleich auf. Um mehr Fokus auf das Lithographiegeschäft zu legen, wurde 1994 parallel zum bisherigen Geschäftsbereich Photo ein Geschäftsbereich Halbleiteroptik (HL) geschaffen, der ausschließlich das Geschäft mit ASML zu verantworten hatte. Die Leitung für HL wurde schließlich mir übertragen. Der neue Geschäftsbereich bestand im Wesentlichen aus einer kleinen Entwicklungsgruppe um Gerhard Ittner und einer kaufmännischen Abteilung unter Klaus Maier. Wichtige Leistungsträger wie beispielsweise Winfried Kaiser und Hermann Gerlinger waren aber schon an Bord.

Von Anfang an war es mein Bestreben, die für Entwicklung und Fertigung wichtigen Kernkompetenzen aus den Zentralbereichen von ZEISS heraus in den HL-Geschäftsbereich zu überführen. Ich wollte eine Mannschaft formieren, die Spaß an den Anforderungen dieses speziellen Geschäfts hatte. So wurden die Endmontage der Objektive und das mathematisch-

optische Design relativ schnell Teil des neuen Geschäftsbereichs. Der kritische Teil der Einzellinsenfertigung verblieb dagegen vorerst in der Zentralen Fertigung des Konzerns.

Eine erste Bewährungsprobe für den neuen Geschäftsbereich kam bald: 1995 standen für unseren Bereich bedeutende Investitionen in die Produktions- und Messmittel für die nächste Generation der DUV-Objektive (248 Nanometer) an. Um einen schnellen Anlauf zu sichern, hatte die Technologie-Mannschaft ein Investitionsvolumen von 100 Millionen D-Mark für zwei Jahre geplant – angesichts von 80 Millionen D-Mark Jahresumsatz ein krasses Missverhältnis. Der neue Vorstandssprecher und der Unternehmensrat von ZEISS genehmigten mir die Summe nach kurzer Diskussion – eine Sternstunde für HL! Auch auf der Innovationsseite gab es neue, aufregende Ergebnisse. Bereits 1995 machten mich Gerhard Ittner und Winfried Kaiser auf ein erfolgreiches Laborexperiment von AT&T Bell Labs in den USA aufmerksam. Die dortige Entwicklungsgruppe hatte den *proof of principle*, also den erfolgreichen Labortest, für eine Belichtung von kleinsten Strukturen auf einem Wafer mit weichem Röntgenlicht von 13,5 Nanometer (EUV = *Extreme UltraViolet*) geschafft. Da wir schon eigene Vorstudien absolviert hatten, beschlossen wir sofort, die erfolgreichen Wissenschaftler nach Oberkochen einzuladen. Der gemeinsame Workshop war der Startschuss für unser heute so erfolgreiches EUV-Geschäft.

1996 begann dann unser Siegeszug mit den DUV-Objektiven (für *Deep UltraViolet*, also Wellenlängen von 248 und 193 Nanometer), die wir sehr erfolgreich in den Markt brachten. Erste überzeugende Geschäftserfolge mit überproportionalem Wachstum stellten sich unmittelbar ein. In dieser Zeit wurden die Bande zwischen ASML und HL immer enger. Willem Maris, CEO von ASML, handelte nach der Maxime: „Two companies, one business“, und der erste Kooperationsvertrag wurde 1997 geschlossen. Zum 1. Januar 1999 wurde ich Technikvorstand bei ZEISS, und Hermann Gerlinger übernahm meine Rolle als Leiter des Unternehmensbereichs HL. Zugleich kam Heinz Dürr als neuer Stiftungskommissar zur Carl-Zeiss-Stiftung. Bei einem Rundgang bezeichnete Dürr die Oberkochener Fertigung als „Schwäbische Hüttenwerke“! Und weiter: „Gerlinger, Sie brauchen

ein neues Fabrikle!“ Er schätzte die Investition auf 20 Millionen D-Mark (das war bei Weitem zu wenig) und gab grünes Licht. Die Suche nach einem geeigneten Industriegelände fand dank der unbürokratischen Unterstützung durch die Politik ein glückliches Ende. In kürzester Zeit entstand das neue HL-Werk als Grundstock für alle Erweiterungen der nächsten 20 Jahre. 2001 kam es dann nach heftigen ZEISS internen Diskussionen zur Ausgründung des HL-Bereichs in die Carl Zeiss SMT AG, einer 100-prozentigen Tochter von ZEISS. Damit war ein zweiter wichtiger strategischer Schritt für weiteres Wachstum vollzogen.

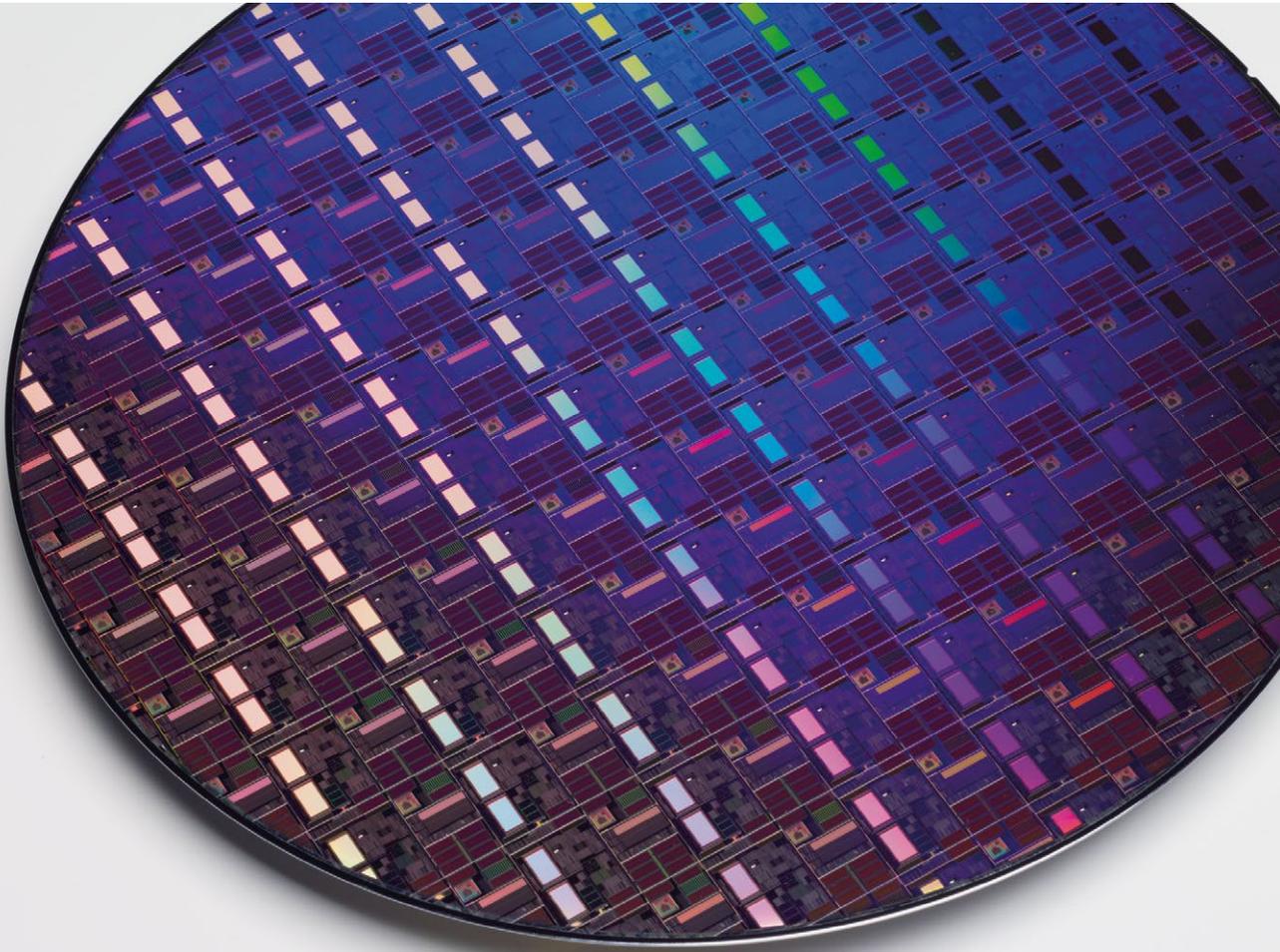
Nach der erfolgreichen Einführung der DUV-Technologie (248 Nanometer) brachten wir nur wenig später die erste neuartige Optik für die Wellenlänge 193 Nanometer mit Vorsprung zum Wettbewerb auf den Markt. Zu Beginn der 2000er Jahre befand sich die Halbleiterindustrie wieder an einem wich-

tigen Scheidepunkt: Die 193-Nanometer-Optiken hatten sich viel besser bewährt als erwartet, doch es war unklar, welcher Nachfolgetechnologie die Zukunft gehörte. Wir setzten auch auf die Wellenlänge 157 Nanometer – ein riskantes Unterfangen. Bei dieser Wellenlänge braucht man ein anderes optisches Material, Kalziumfluorid (CaF_2), das bis dato niemand in großen Mengen fertigen konnte.

2003 überraschte Intel die IC-Industrie: Der Konzern gab bekannt, dass er die 157-Nanometer-Technologie wegen der nicht ausreichenden Verfügbarkeit von CaF_2 nicht einsetzen werde. Damit war klar: Die 157-Nanometer-Lithographie ist eine Sackgasse. Glücklicherweise hatten ASML und ZEISS SMT schon parallel begonnen, eine Alternative zu entwickeln: die sogenannte Immersionslithographie, welche danach und bis heute durchschlagende Erfolge verzeichnete.



Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier bei der Verleihung des Deutschen Zukunftspreises 2020 für die Entwicklung der EUV-Lithographie an Michael Kösters (TRUMPF Lasersystems), Peter Kürz (ZEISS SMT) und Sergiy Yulin (Fraunhofer IOF).

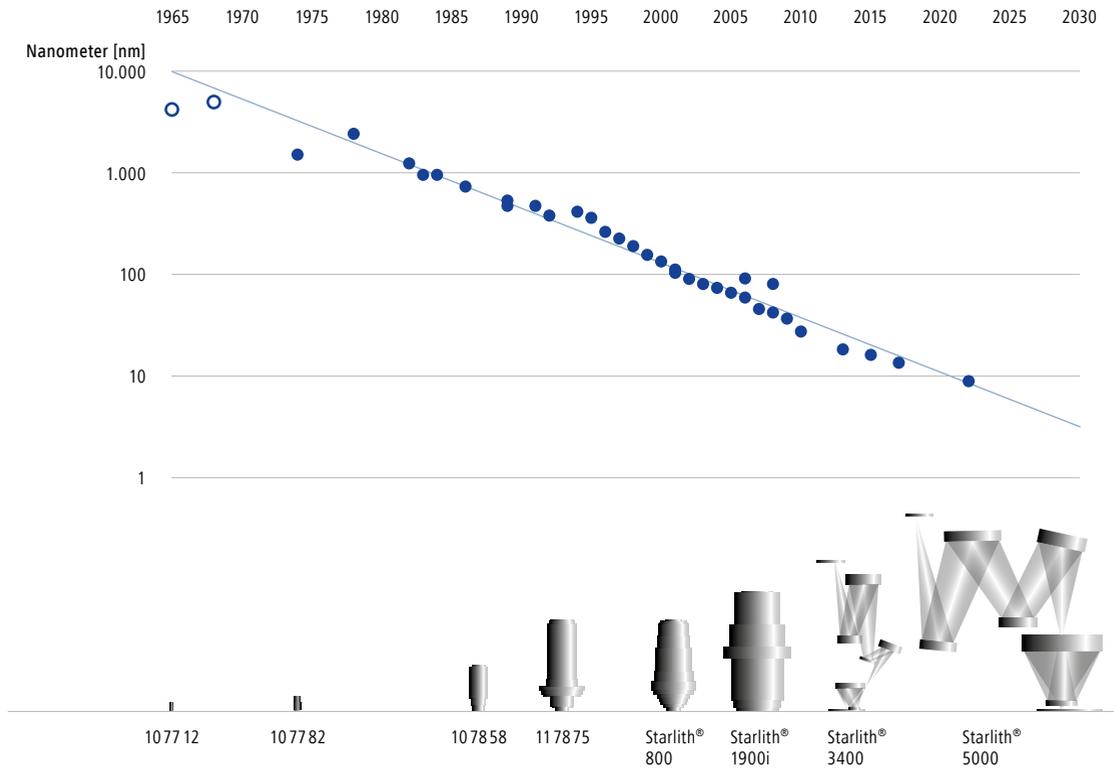


Siliziumscheibe (Wafer) mit integrierten Schaltkreisen (ICs). Die einzelnen Chips, welche zur weiteren Verwendung aus dem Wafer herausgeschnitten werden, sind gut erkennbar. Als Standardformat hat sich etwa seit Anfang der 2000er Jahre ein Durchmesser von 300 Millimeter (12 Zoll) etabliert. In den Anfangstagen der Photolithographie waren die als Substrat genutzten Siliziumscheiben viel kleiner.

Doch schon 2008 zogen neue Gewitterwolken auf. Im Zuge der weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrise kam es in der Chipindustrie zu einem kompletten Investitionsstopp. Unsere gerade erweiterten HL-Produktionslinien standen mehrere Monate komplett still. Die neuartigen Beschäftigungsmodelle, die das SMT-Management zuvor mit der IG Metall und dem Betriebsrat vereinbart hatte, kamen jetzt zum Tragen. Anders als in den USA, wo Zehntausende im Silicon Valley ihre Jobs verloren, konnten wir damit am Ende der Krise sofort mit unseren bewährten und erfahrenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern durchstarten.

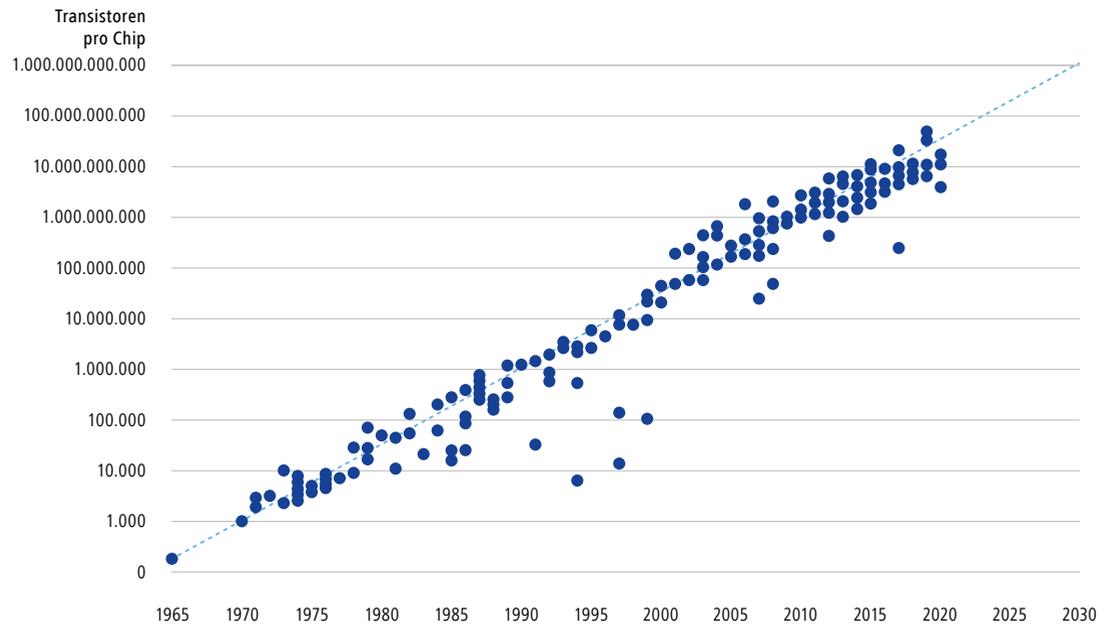
Ab 2009/2010 hatte sich die 193-Nanometer-Immersion als Standardsystem für kleinste Strukturen etabliert. Unser langer Atem und der feste Glaube an die 193-Nanometer-Roadmap führten zum Erfolg. Doch die führenden Chiphersteller erwarteten ab 2010 bereits ungeduldig die ersten EUV-Scanner. Als Marktführer waren wir die Einzigen, die mit riesigem finanziellen Aufwand und hohem Risiko diese Technologie vorantreiben konnten. Plötzlich waren ASML und ZEISS in der Pflicht, Moore's Law allein fortzuschreiben! Der Durchbruch zur Marktreife gelang aber erst 2018 mit fast zehn Jahren Verspätung. Heute ist die Technologie ohne Konkurrenz.

Auflösung von ZEISS Lithographieobjektiven



Datenbasis: ASML/ZEISS

Moore's Law



Datenbasis: Intel

Die hochkomplexe und zukunftssträchtige EUV-Belichtungstechnologie wurde nach 25 Jahren Entwicklungsgeschichte zu Recht ausgezeichnet. Am 25. November 2020 wurden Peter Kürz und sein Entwicklerteam von ZEISS SMT gemeinsam mit den Teams von TRUMPF Lasersystems und vom Fraunhofer IOF durch Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier mit dem Deutschen Zukunftspreis 2020 geehrt.

Fast gleichzeitig stellte Apple seinen ersten eigenentwickelten Prozessor M1 vor. In seiner neuesten Version als M1 Max ist er mit 57 Milliarden Transistoren und den derzeit kleinsten Strukturen seiner Zeit weit voraus und bedeutet einen Quantensprung in der Prozessorentwicklung. Er wird mit ASML-Scannern hergestellt, für die wir die Optik liefern. Zurzeit stellen alle IC-Hersteller, die Hochleistungschips entwickeln und bauen, auf die EUV-Technologie um.

Wo stehen wir also heute? – Für mich ist das HL-Geschäft der Sweet Spot im Portfolio von ZEISS. Riskant, aber hochprofitabel und mit großem Wachstumspotenzial weit über das heutige Jahrzehnt hinaus.

Wachstum, Ergebnisstärke und ständige Erweiterung mit qualifizierten Beschäftigten führten uns aus kleinen Anfängen zu der außerordentlichen Erfolgsgeschichte, die in diesem Buch erzählt wird. Dieser Erfolg wäre aber ohne die ungewöhnlich gute Zusammenarbeit der beiden Firmen ASML und ZEISS SMT nicht gelungen.

Die Marke ZEISS hat mit diesem Erfolg neuen Glanz bekommen. Auch und gerade deswegen gilt ZEISS als hervorragender Arbeitgeber mit hohem Innovationspotenzial und einem Angebot an attraktiven Arbeitsplätzen. Mit Blick auf die smarten Technologien von heute sind wir ein unverzichtbarer Hidden Champion, der das Informationszeitalter erst möglich macht. Ich habe es immer als besonderes Privileg verstanden, daran mitarbeiten zu dürfen.



Die Geschichte der ZEISS Lithographieoptik lässt sich etwa so auf den Punkt bringen: Der wichtigste Maßstab für den Fortschritt der Halbleiterindustrie ist nach Moore's Law die Anzahl der Transistoren pro Fläche. Damit hier ein exponentielles Wachstum möglich wird, muss die Lithographieoptik immer kleinere Strukturen abbilden. Die Abbildungsleistung von Lithographieobjektiven und die Rechenleistung von Chips sind gewissermaßen zwei Seiten einer Medaille. ZEISS hat damit einen wesentlichen Beitrag geleistet, Moore's Law fortzuschreiben und den Weg ins Informationszeitalter zu gehen.

Carl Zeiss

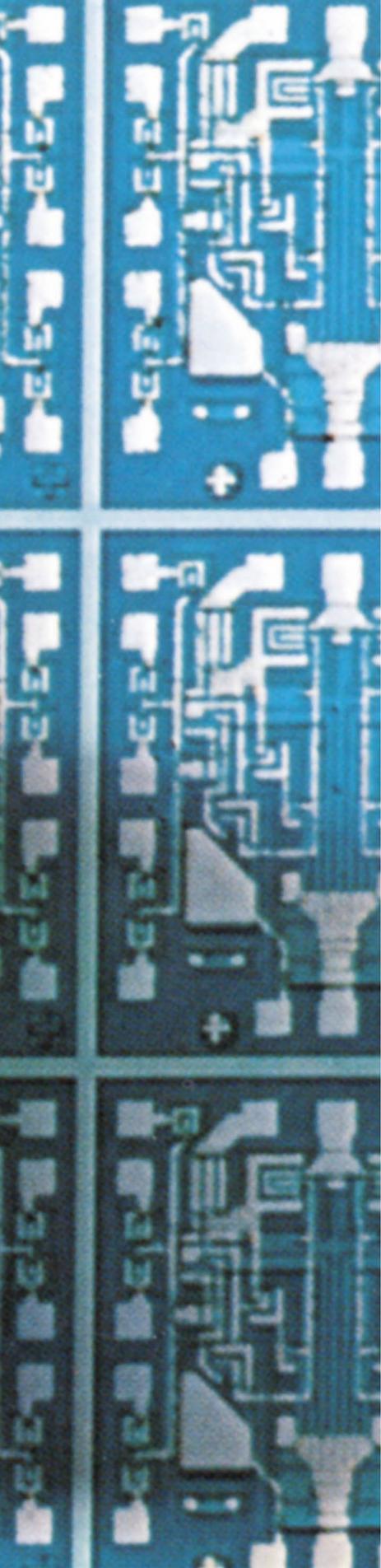
S-Planar 1,6/50

M 1:10

n.A. 028

4360A





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.

1964 – 1978



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

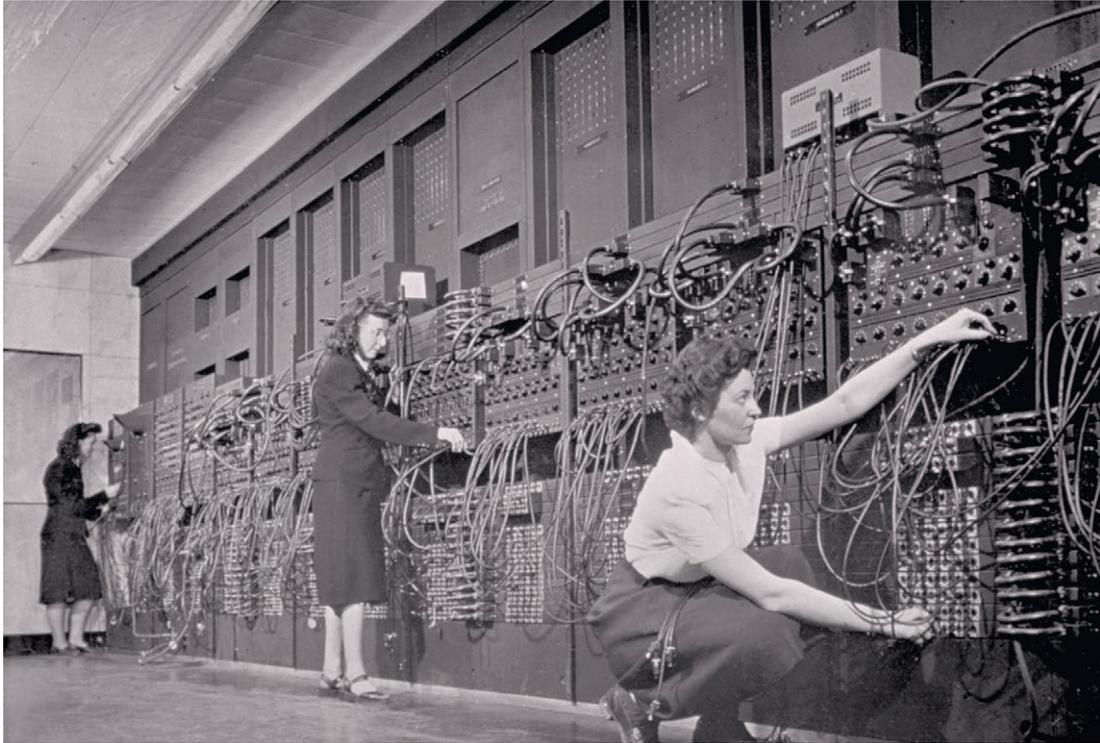
Thomas J. Watson, der CEO von IBM, soll 1943 gesagt haben: „I think there is a world market for maybe five computers.“ Es bleibt zweifelhaft, ob Watson sich wirklich zu dieser spektakulären Fehlprognose hinreißen ließ, aber eines ist klar: Selbst die Pioniere des Informationszeitalters haben den späteren 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.



Bereits vor Erfindung des integrierten Schaltkreises gab es Computer. Hier im Bild der vom US-Militär genutzte ENIAC aus dem Jahr 1945. Praxistauglich waren diese schwerfälligen Giganten jedoch kaum.

Die Raketenwissenschaft

Nach dem Sputnikschock, also der Reaktion des Westens auf die Erdumrundung durch einen sowjetischen Satelliten im Oktober 1957, erhielt die Entwicklung integrierter Schaltkreise starken Auftrieb. Die USA unternahmen nun enorme Anstrengungen, die technologische Überlegenheit beim Wettlauf ins All – und bei der Entwicklung von Interkontinentalraketen – zurückzugewinnen. Kompakte elektronische Rechenbausteine, etwa zur Steuerung von Raumschiffen und nuklear bestückten Flugkörpern, waren gefragt. Und es gab Aussicht auf Erfolg: Bereits im November 1957 stellten Jay Lathrop und Jim Nall, die in einer Forschungseinrichtung des US-Militärs arbeiteten, ein photolithographisches Verfahren zur Herstellung elektronischer Bauteile vor. Die Nachricht vom „gedruckten Transistor“ fand ein reges Presseecho.² Am

19. September 1958 präsentierte der Ingenieur Jack Kilby für Texas Instruments den Prototypen eines Flipflop-Schaltkreises (→ *ein 1-Bit-Speicherbaustein*), der auf einem Germanium-Halbleiter mit Goldverdrahtung aufgebaut war. Kilby hatte die Entwicklung während der Sommermonate nahezu in Eigenregie vorangetrieben, weil er als Neankömmling anders als die meisten seiner Kollegen keinen Sommerurlaub nehmen durfte. 1959 ging der Physiker Robert Noyce noch einen Schritt weiter. Noyce war Mitglied der

1-Bit-Speicherbaustein

Bit, eine Ableitung aus *binary digit* (Binärzahl), ist eine Maßeinheit für digitale Datenmengen. Da ein Bit lediglich die Zustände 0 und 1 annehmen kann, repräsentiert es die kleinstmögliche Datenmenge in einem digitalen System.



Die Gründer der Firma Fairchild im Jahr 1961. Robert Noyce, dem zum ersten Mal die Herstellung integrierter Schaltkreise mit dem sogenannten Planarprozess gelang, ist rechts zu sehen.

sogenannten Verräterischen Acht (*Traiterous Eight*), einer Gruppe von Wissenschaftlern und Technikern, die 1957 den Weg in die unternehmerische Selbstständigkeit gewagt und im kalifornischen San José die Firma Fairchild Semiconductor gegründet hatten, eine der wichtigsten Keimzellen des heutigen Silicon Valley. Unter dem Dach von Fairchild war 1958 der sogenannte Planarprozess entwickelt worden. Bis heute wird dieser zur Produktion von Halbleiterchips eingesetzt. Noyce demonstrierte nun erstmals, wie sich mit diesem Prozess monolithische integrierte Schaltkreise auf Siliziumbasis herstellen ließen. Mit den seit 1896 bei ZEISS gebauten Planar Photoobjektiven hat der Planarprozess von Fairchild übrigens nichts zu tun, wengleich die ersten Optiken, die ZEISS Ende der 1960er Jahre an Fairchild lieferte, passenderweise die Bezeichnung S-Planar („Sonder-Planar“) trugen.

Vorerst nahm ZEISS von der dynamischen Entwicklung in Übersee noch wenig Notiz. In Oberkochen auf der schwäbischen Ostalb, fernab von der weltpolitischen Bühne, gingen die Uhren anders. Die ‚Universität mit angeschlossener Fertigung‘, wie die Firma von Insidern oft beschrieben wurde, beschäftigte einige der fähigsten Physiker und Ingenieure ihrer Zeit. Viele Zeissianer, die in Oberkochen tätig waren, publizierten in wissenschaftlichen Zeitschriften, hielten Vorträge auf universitären Symposien und meldeten regelmäßig Patente an. Jedenfalls im höheren Management gab es kaum jemanden, der nicht über einen akademischen Titel verfügte. Für viele verkörperte Dr. Erhard Glatzel diesen Typus des Zeissianers in besonderer Weise: Der ‚Papst‘ des Objektivdesigns hatte 1966 für die NASA das berühmte ZEISS Planar 0,7/50 mit extrem hoher Lichtstärke konstruiert, eben jenes Objektiv, das dem Regisseur

Stanley Kubrick und seinem Kameramann John Alcott später zum Oscar für die beste Kamera verhelfen sollte – dank mehrerer Szenen im Film *Barry Lyndon*, die ausschließlich bei Kerzenlicht gedreht waren. Glatzel war auch der Kopf hinter anderen bahnbrechenden Entwicklungen, etwa der bei ZEISS seit den 1960er Jahren genutzten ‚adaptiven Methode‘ zur computergestützten Entwicklung und Korrektur von Objektiven. Es waren Menschen wie Glatzel, die bei Kunden überall auf dem Globus den hervorragenden Ruf von ZEISS begründet hatten. Die außergewöhnliche Fachkompetenz, die sozusagen Teil der DNA von ZEISS zu sein schien, war jedoch nur eine Seite der Medaille: Das Unternehmen aus dem Kochertal galt auch als technikverliebt und wenig kundenorientiert. Zeitpläne, Deadlines, Effizienz, Marketing – die meisten Zeissianer vom alten Eisen hatten für solche betriebswirtschaftlichen Flausen wenig übrig.

Solche Anekdoten könnten dazu verleiten, ZEISS Oberkochen als Elfenbeinturm zu sehen. Dies wäre jedoch viel zu einseitig. Wie jedes größere Unternehmen versammelte ZEISS die unterschiedlichsten Charaktere unter seinem Dach. Im Bereich der Halbleitertechnologie hat ZEISS von Anfang an auch eine gewisse Offenheit zum Austausch und zur Kooperation mit anderen Unternehmen gezeigt. Gerade hier bekommt das Bild vom Elfenbeinturm Risse. Doch wo liegen überhaupt die Anfänge der Lithographieoptik bei ZEISS? – Eine der frühesten Quellen zur Geschichte der heutigen Sparte *Semiconductor Manufacturing Technology* (SMT) erzählt, dass die Oberkochener Photo-Abteilung seit Anfang 1964 das Forschungslabor von Telefunken in Ulm durch die Entwicklung von Objektiven für die Halbleiterindustrie unterstützte. Die Firma Telefunken, die 1967 mit ihrer Muttergesellschaft AEG fusionierte, war in den 1960er Jahren neben Siemens & Halske einer der wichtigsten deutschen Anbieter von Computern und hatte 1962 mit dem ersten europäischen Großrechner TR4 für Furore gesorgt. ZEISS trat für Telefunken als technischer Berater auf und stellte Mikroskopobjektive, Reduktionsobjektive sowie Beleuchtungssysteme für Versuche zur Verfügung. Zugleich wurde Mitte der 1960er Jahre auf Anregung des US-amerikanischen Motorola-Konzerns, der in Phoenix (Arizona) ein Halbleiterlabor unterhielt, das → *S-Planar 2,8/100* entwickelt, welches ein Bildfeld von 20 mal 20 Millimeter bei zehnfacher Verkleine-

rung belichten konnte. Auch dieses Objektiv, in einer ersten Version mit der Typnummer 10 77 10, später als 10 77 12, erhielt Telefunken zu Testzwecken. ZEISS wurde hierbei seinem Ruf als Technologieführer im Feld der optischen Systeme gerecht, wie ein interner Bericht zeigt:

„Über die von [Telefunken] erzielten Ergebnisse wurde auf dem [INTERNATIONAL] ELECTRON DEVICES MEETING in Washington (20.–22. Okt. 1965) in einem Vortrag berichtet, der ein weltweites Echo in [...] Fachkreisen fand. In dem Vortrag wurde [...] gezeigt, dass man mit unseren Mikro-Objektiven hoher Apertur, wenn man sie sachgemäß anwendet, z. B. eine Planartransistorstruktur erzeugen kann, deren → *Emitter* nur eine Strichbreite von der Wellenlänge des roten Lichtes hat. Vielleicht noch größeres Interesse in den Fachkreisen fand die Demonstration der Ergebnisse mit dem [...] S-Planar. Hier wurde erstmals gezeigt, dass mit einem sogenannten Photo-Objektiv ein ganzes → *Maskenfeld* mit einer einzigen Belichtung erzeugt werden kann, wobei die Abstände zwischen den Strukturen in einem Fall nur 3 µ betragen.“³

S-Planar 2,8/100

Das erste ZEISS Planar-Objektiv mit sechs Linsen in vier Gruppen zeichnete sich durch eine besonders gute Bildfeldebhnung aus. Es wurde 1896 von Paul Rudolph patentiert, der als einer der bedeutendsten Entwickler bei ZEISS in Jena tätig war. Die Typenbezeichnung S-Planar 2,8/100 steht für ein ‚Sonder-Planar‘ mit einer Öffnungszahl von 2,8 und einer Brennweite von 100 Millimetern.

Emitter

Der Emitter bezeichnet einen der drei Anschlusskontakte eines Transistors. Da rotes Licht eine Wellenlänge von ca. 630 bis 700 Nanometer hat, ergibt sich, dass die Breite der Kontaktflächen weniger als ein tausendstel Millimeter betrug.

Maskenfeld

Als Maske wird die Projektionsvorlage bei der Photolithographie bezeichnet. Diese bestand traditionell aus hochreinem Quarzglas mit einer lichtabsorbierenden Chromschicht als Informationsträger.