



# LEIBNIZ-Konferenz

Industrielle Revolution 4.0 im historischen Kontext

Hermann Wolf

## **„Maskentechnik - die Strukturerzeugung als entscheidendes Werkzeug zwischen Entwurf und Fertigung“**

**Dresden, 19.März 2015**



**19. Leibnizkonferenz**

# Von den Anfängen bis 1979

---

- ❑ 1964 “Präzisionskoordinatograph” zur Schablonen-Herstellung  
Zeichnen auf Rubylith-Folien, fotografische Verkleinerung,  
Vervielfältigung auf Glasplatten, Geb 337
  
- ❑ 1965...1968 1. Photorepeater... ANR in Eigenentwicklung
  
- ❑ Bildgenerator EM519 und Repeater AER 10:1  
für Chrom-Einzelbilder (10x) und Originalschablonen (1x)
  
- ❑ Patterngenerator GCA 3500 (Embargo)  
für Photoschablonen & Cr-Kopien (10x)
  
- ❑ 1979 Elektronenstrahlbelichtungsanlage ZBA10 (FUMU)  
für Cr-Schablonen (10keV, CD 0.5 $\mu$ )



# Elektronenstrahltechnologie 1980 – 1989

## □ 1980... Entwicklung der Elektronenstrahl-Technologie

- Embargo: Eigenentwicklung der DDR und des RGW
- Rechentechnik: Lochbänder -> Bandlaufwerke, ...
- E-Resiste: Entwicklung Akademie der Wissenschaften, Fotochem. Werke Berlin
- Bildgenerator: ZBA20/21 “variable shape” mit 20keV bei Carl Zeiss in Jena
- & Trockenätzen [Bilder\IMG\\_1124.jpg](#)
- Naßarbeitsplätze: NAP bei ZFTM
- Meßtechnik: ZRM20 bei Carl Zeiss
- Inspektionstechnik: DKG20 (Bild – Bild) bei Carl Zeiss
- Pellicle-Projekt: Zellulosenitrat-Folien bei ZFTM – später gescheitert
- RöLi- & Ionenstrahl-Projekte: Erzielung kleinerer Strukturabmessungen – später gescheitert

## □ Meilensteine

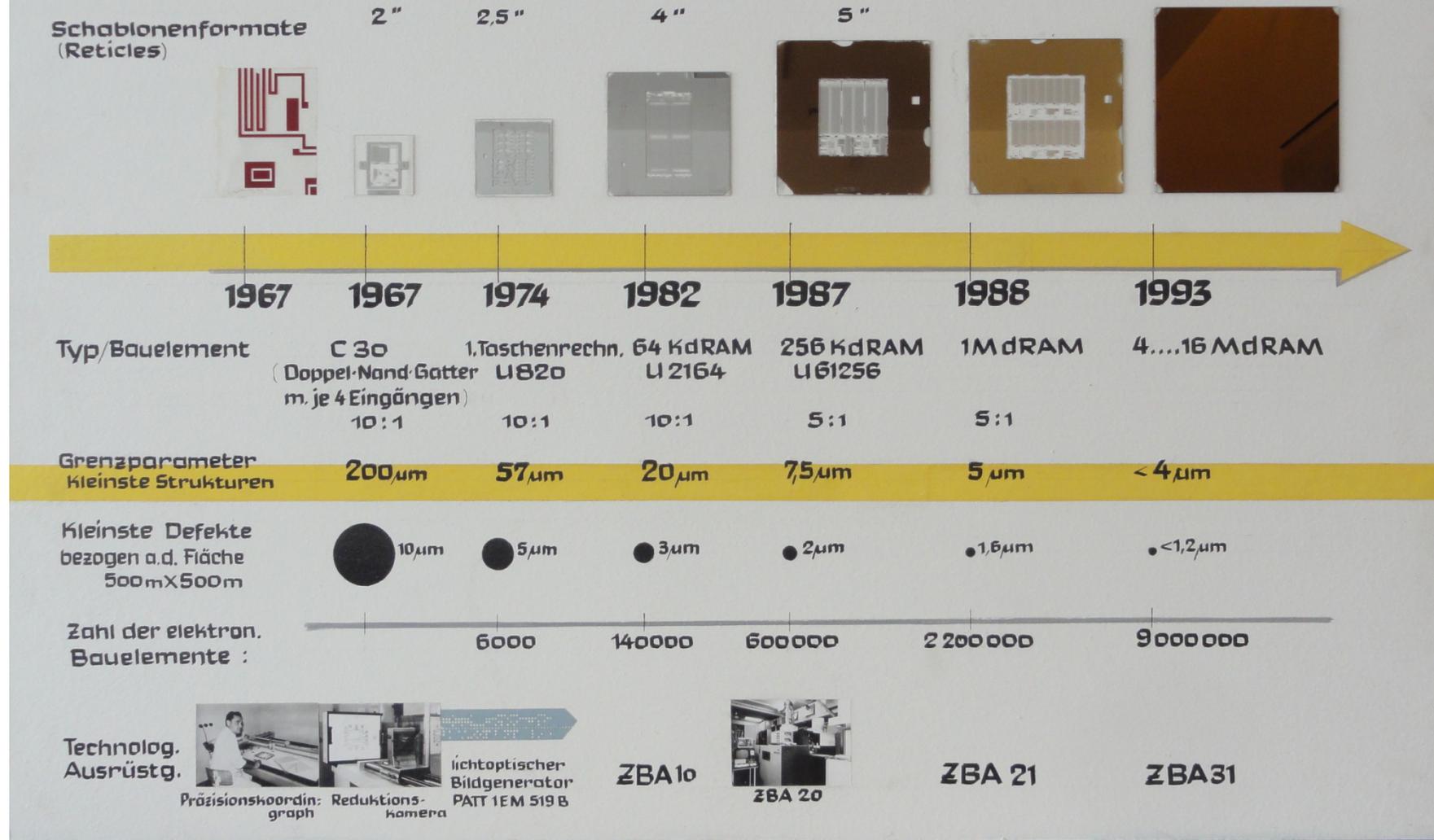
- 2” ... 2.5” ... 4” Schablonen 10x für AER
- 4” ... 5” Schablonen 5x für AÜR
- 5” 5x Schablonensatz für Megabit U61000, 1µ-Technologie, 13 (...16) Ebenen

\*\*\*\*\*

- Bau Schablonenreinraum SRR an der Grenzstrasse



# Entwicklung der Schablonenformate, -ausrüstungen u. -parameter



## Dresdner Maskentechnik im deutschen Markt 1990 – 1999

---

- ❑ Abspaltung der “Schablone” vom Kerngeschäft ZMD
  - Treuhand: ME-Konsolidierung wird auf Waferprozeß konzentriert
  - Aktivitäten zur Privatisierung (Abbau von 110 MA auf 26MA)
  - Konzentration auf Elektronenstrahl-Technologie: Ende der 1xRepeater-Schablonen
  - VDI & Siemens, “Schablone” -> “Photomaske”
  - keine deutsche Maskenabteilung war zur Kooperation bereit !
  - **1993: MBO – Gründung MZD Maskenzentrum für Mikrostrukturierung**
  - Markteintritt: vom “Captive” zum “Merchant Mask Shop”
  - Erschliessung neuer Geschäftsfelder auf Basis “variable shape E-Beam & dry etch”
  - ab 1995 “schwarze Zahlen” – aber: Investbedarf & Zugang zu strategischen Kunden ?!
  - **1997: Photonics MZD** – deutsche NL von “PLAB” (ww 12 Werke)
  - Einführung / Vernetzung globaler Fertigungssoftware: S2S
  - Installation von Die-To-Database Inspektionstechnik & opaque Laser-Repair
  - Verkürzung der Herstellungszeiten bis zu 48 Std.
  - Aktive Rolle im VDI – Maskentechnik & Silicon Saxony
  - Umsatz-Schwerpunkt ausserhalb Sachsens erreicht !

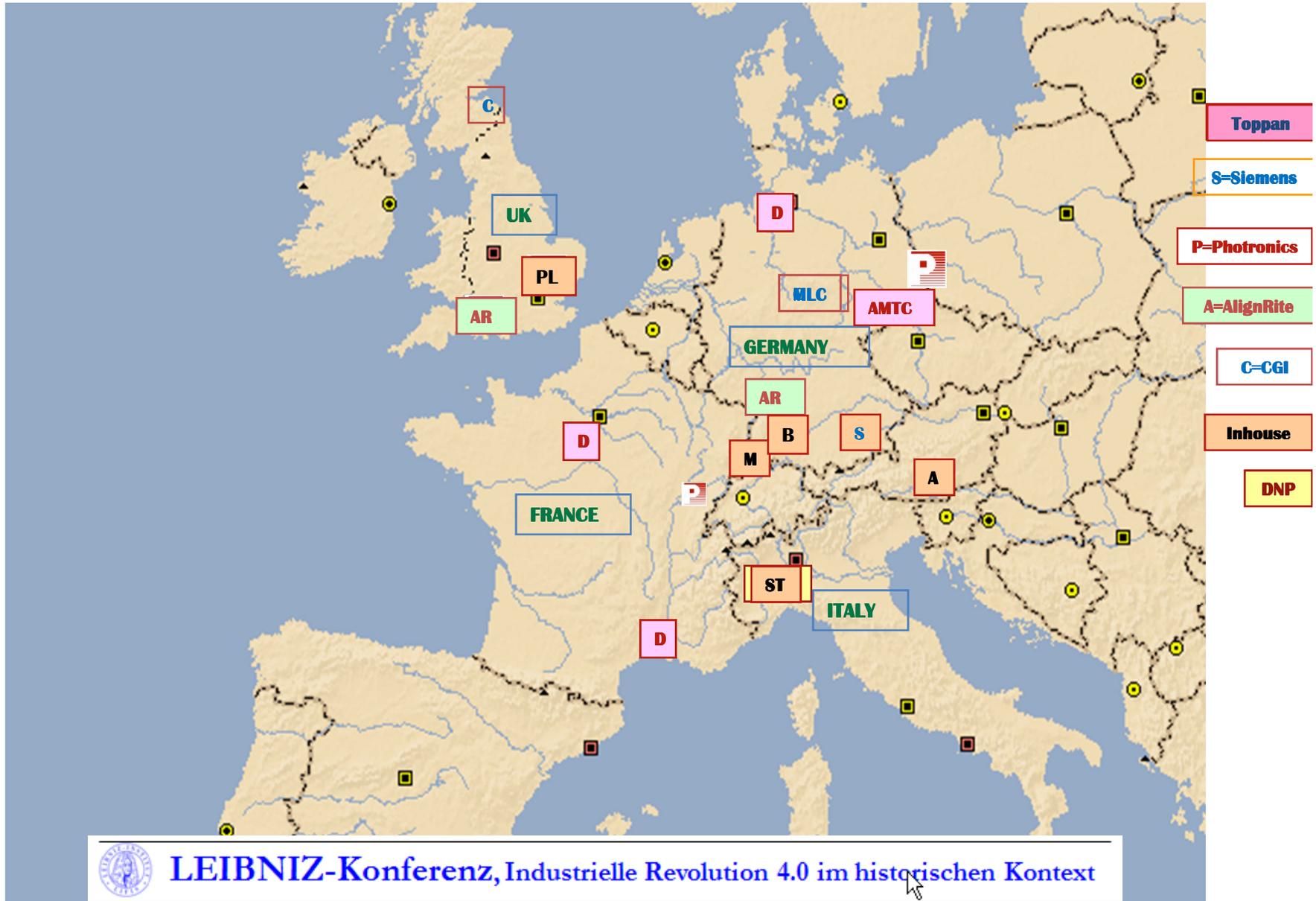


# Wandel im europäischen Markt seit 2000

- ❑ Strukturwandel in Europa – Stärkung Dresden (Infineon & AMD)
  - Trend zu mehr Merchant mask shops und Konzentration auf 2...3 “starke”
  - AMTC: Verlagerung Siemens Maskenhaus München nach Dresden,  
DuPont Fertigung Rousset & Hamburg nach Dresden
  - Verkauf großer europäischer Maskenfertigungen:
    - Inhouse-Fertigung Plessey/England -> Photronics
    - Inhouse-Fertigung ST Agrate -> DNP
    - Verkauf DuPont an Toppan
    - Verkauf AlignRite an Photronics
  - EMLC in Dresden, mit weltweiter Beteiligung
  - Halbierung der “Masken-Spezialisten” von 2000 auf 1000 in EU innerhalb von 15 Jahren
  
- ❑ Strukturwandel weltweit
  - Konzentration auf 3 große “merchant” mask shops: Toppan, DNP, Photronics (Zukauf vieler “captive’s”)
  - Konsolidierung großer inhouse “captive” mask shops: Intel, TSMC, Samsung, IBM



# European Photomask Suppliers 2000 ... 2015



# Stand der Maskentechnik und Ausblick

$$\text{Res} = k_1 \cdot \frac{\lambda}{\text{NA}}$$



Res = Resolution  
 $\lambda$  = Wavelength  
NA = Numerical Aperture  
 $k_1$  = Process Factor



Major breakthroughs for resolution improvements are reached (down to 14nm node)

$\lambda$ : From 435 nm (g-line)

down to 193 nm

NA: From 0.35

up to 1.00...>1.30

$k_1$ : From 0.8

down to 0.28...<0.20 !

$$\text{DoF} = k_2 \cdot \frac{\lambda}{2(\text{NA})^2}$$



DoF = Depth of Focus  
 $k_2$  = up to 1  
NA to adjust



# Stand der Maskentechnik und Ausblick

## □ Im Fertigungseinsatz:

- I-Line 365nm “Mature”: 5x, 1xAligner, 1xUT, Binary
- DUV 248nm <130nm node: 4x, Binary & PSM, OPC
- 193nm <=90nm node: 4x, Binary & PSM, “Haze free”  
... <= 14nm (Prototyping)  
Immersion (wet/dry), **Double patterning**, off-axis,  
Triple, Quad..., Multibeam, DSA, Imprint,... (ITRS!)
- Maskentools: Laser & Ebeam, Trockenätzter, DDB insp., ...

Photronics MZD

AMTC

## □ EUV (157nm übersprungen!): $\lambda = 13.5\text{nm}$ !

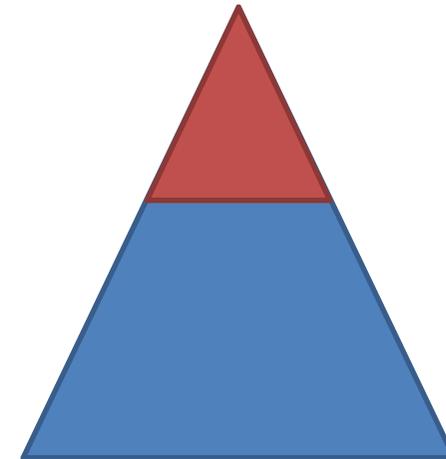
- Pilotanlagen von ASML: IMEC, Intel, Samsung, ..
- Technische Hürden:
  - Lichtquellen (jüngste Fortschritte 100W!)
  - Reflexionsmasken (Abbildung, >40 fehlerfreie Absorberschichten, Belichtung im Vakuum, ... )
- Finanzielle Hürden: extreme Anschaffungs- und operative Kosten
- Anwender: Intels’s Mark Bohr on Nov, 2014: “working on [research for a process to make] 7 nm I believe there is a way without EUV...”



# Stand der Maskentechnik und Ausblick

## ❑ **Leading Edge:**

- KOSTEN -> Konzentration auf 1...2 Fabriken/Kontinent
- Technologie Node  $\leq 28\text{nm}$
- Double Patterning / EUV / **neue Technologien**
- Kosten Maskensatz \$1m / \$3...5m / ???
- Strategische Partnerschaften
- F&E Subventionen
- Hochspezialisierte FA- und Hochschulausbildung



## ❑ **Mature technology:**

- Hocheffiziente & spezialisierte Fertigungen (Mensch bleibt wichtigster Faktor)
- Technologie Node  $0.5\mu\text{m} \dots 45\text{nm}$ , DUV ... 193nm BIM (SMIF: [Bilder\VSB351SA\\_Juli10\\_005.jpg](#))
- Kosten Maskensatz \$5k ... \$200k
- Flexible Anpassungen an Volumenschwankungen und Kundenwünsche
- Landes- und EU-Projekte
- Reproduktions-/Erweiterungs-Subventionen (Investitionsstau von  $\geq 10\dots 15$  Jahren)

# Maskentechnik

---

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

