

Von Mikro zu Nano - Herausforderungen an die Messtechnik in neuen Technologien

G. Wilkening

PTB, Braunschweig

Messaufgaben

Messmethoden

Vergleichbarkeit

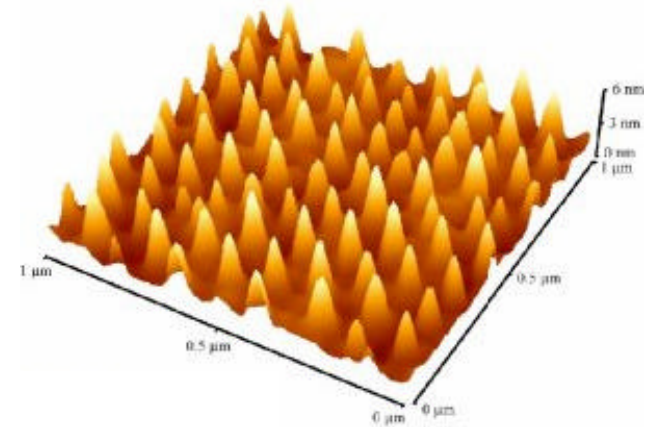
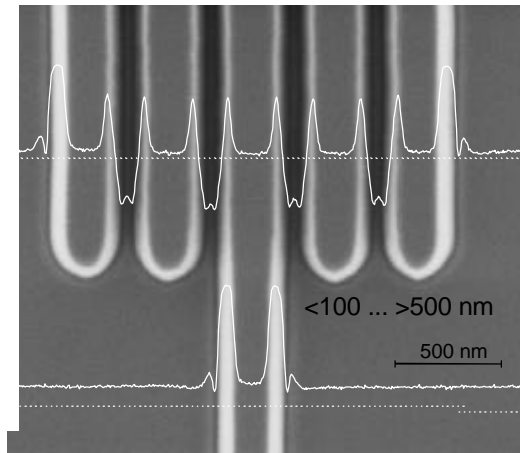
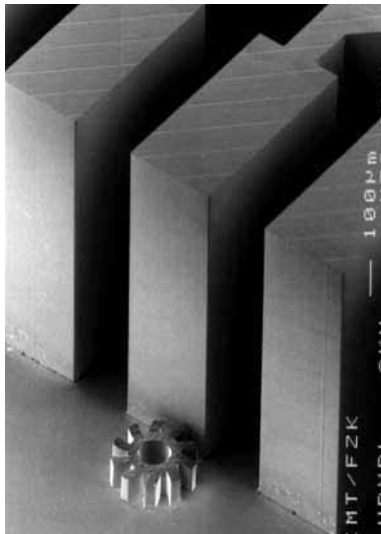
Rückführung

Kalibriernormale

Messungen

Schlussfolgerungen

Mikrosystemtechnik - IC-Technologie - Nanotechnologie



Messaufgaben in den Mikro- und Nanotechnologien

	Mikrosystemtechnik		IC-Technologie		Nanotechnologie	
Struktur	Strukturen auf Masken, Wafern oder anderen Substraten; Einzelstrukturen; verschiedenste Größen		Strukturen auf Masken und Wafern		Strukturen auf Wafern o. a. Substraten; Einzelstrukturen auf Substraten adsorbiert	
Umgebung	Luft; (Vakuum)		Luft; Vakuum		Luft; Vakuum; UHV; Flüssigkeit	
Material	Si; Keramiken; Glas; Metalle; Kunststoffe; Maskensubstrate; Photoresiste		Si und andere Halbleiter; Maskensubstrate; Metalle; Photoresiste		Si und andere Halbleiter; Keramiken; Metalle; Moleküle; Makromoleküle; biologisches Material;	
Probengröße	Masken und Wafer bis zu 6" (oder mehr); Einzelstrukturen bis zu 50mm x 50mm; Dicke bis zu 25mm		Masken und Wafer aller Größen (bis 12")		Wafer und andere Substrate bis zu 4"; Teile von Substraten bis 10mm x 10mm; Dicke bis zu einigen mm	
Messtyp	„2 1/2 – 3-dimensional; Aspektverhältnis bis zu 50 (oder mehr)		~ 2-dimensional; Aspektverhältnis < 1		„2 1/2“ (- 3)-dimensional; Aspektverhältnis ~1	
Positionierbereich	bis zu 150mm x 150mm x 25mm		175mm x 175mm bis 300mm x 300mm (x einige 10µm)		bis zu 100mm x 100mm x < 5mm; überwiegend 10mm x 10mm x 1mm	
Messbereich	bis zu 50mm x 50mm x 25mm		175mm x 175mm für Masken; 25mm x 32mm für dies (x einige 10µm)		~ 100µm x 100µm x 10µm	
Messaufgaben:		+ mechanische Eigenschaften		+ elektronische Eigenschaften		+ mechanische, optische, elektronische, magnetische, chemische, molekulare Eigenschaften
Abstand	< 50mm		< 175mm		< 100µm	
Breite	> 1µm		> 80nm		< 1µm	
Höhe	< 1mm		< 10µm		< 250nm	
Schichtdicke	< 1µm		> 2nm		< 50nm	
Rauheit/Textur	< 1µm rms		< 10nm rms		< 50nm rms	

Vermessen von Rotoren einer Mikrozahnringpumpe (I)

Aufgabenstellung

mit **lateraler Messgenauigkeit $< 2 \mu\text{m}$** ist Außendurchmesser von Rotoren bestimmen, deren Sollmaß 1,35 mm beträgt;

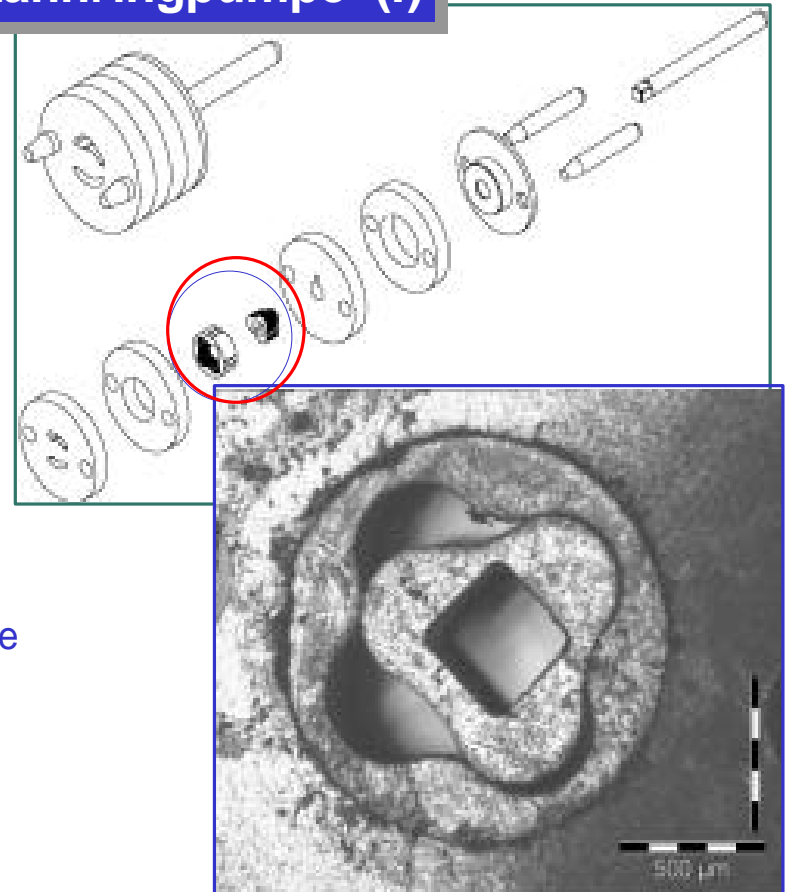
Material: **ZrO₂** (spritzgegossen)

Lösungsversuch

optisch mit Lichtmikroskop und CCD-Kamera

Probleme

- bei Verwendung von sichtbarem Licht liegt maximale Auflösung im Mikrometerbereich
- 1000 Pixel reichen nicht aus
- im REM: maximale Bildgröße 768×1024 Pixel



Mechanisch gefertigte Mikrostrukturen

Aufgabenstellung:

3D-Mikrostrukturen (auf max. 100 cm²) mit steilen Kanten, großer Höhe und z.T. glatten, spiegelnden Oberflächen zu messen sind:

- lückenlose Topographie, ersatzweise Linienprofile
- Rauheit mit Sub- μm -Genauigkeit (10-100 nm)

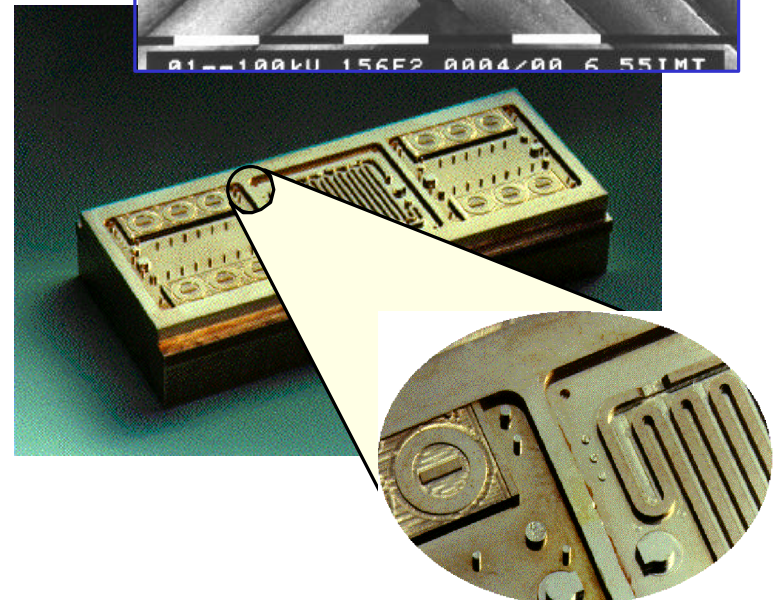
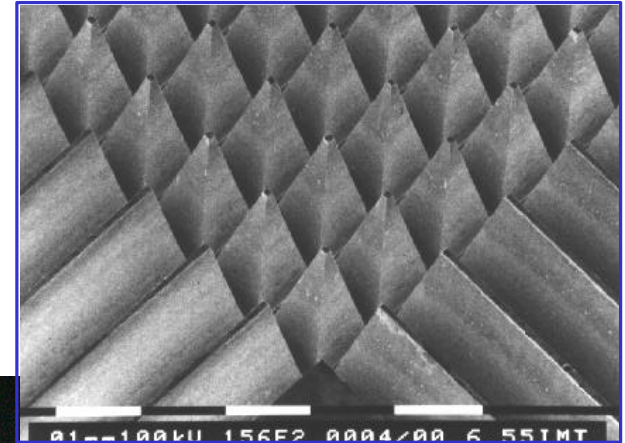
Materialien: **Stahl, Kupfer, Messing, Kunststoffe, Aluminium-Legierungen**

Lösungsversuch

- Lichtmikroskopie mit Autofokus;
- mit Einschränkung okay: FRT im IMF III;

Probleme

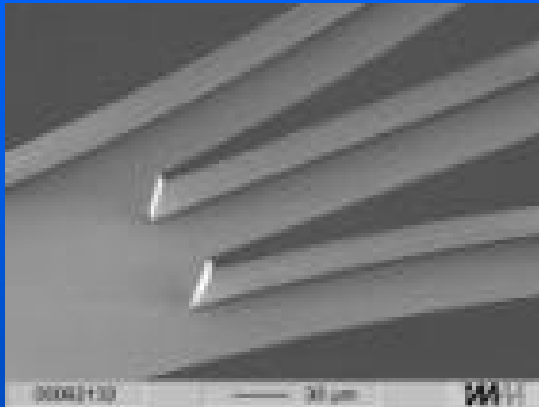
- spiegelnde Flächen,
- steile Kanten, dadurch Messlücken,
- Strukturhöhe größer als Messbereich in z



2. „HIGH ASPECT RATIO“ - STRUKTUREN

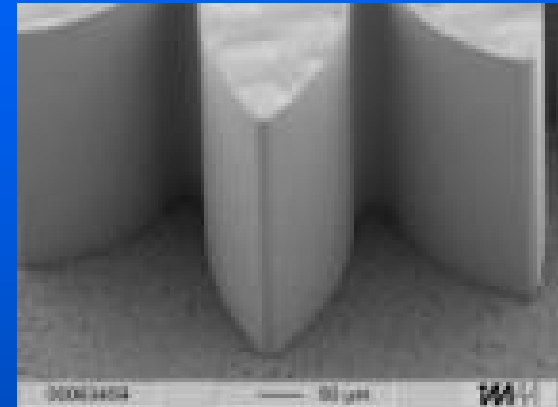


Advanced Silicon Etching (ASE)



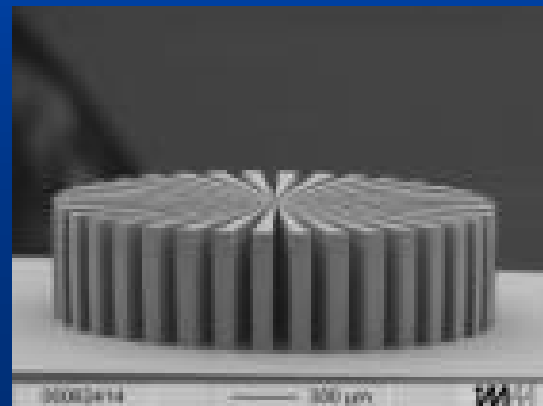
bis 10

Röntgentiefenlithographie mit PMMA



10-50

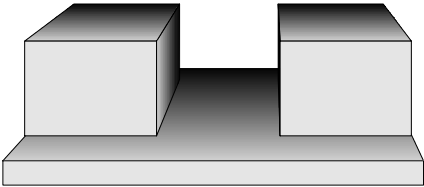
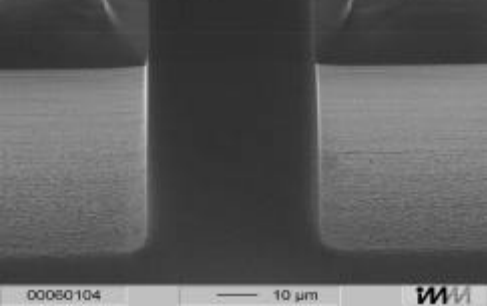
UV-Lithographie mit SU-8



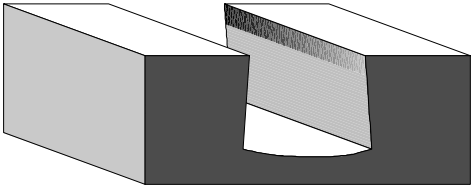
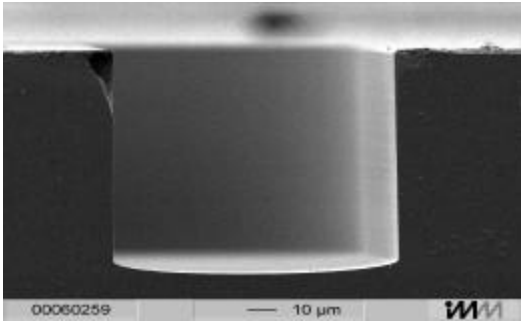
10-40

Messaufgaben in der Mikrosystemtechnik

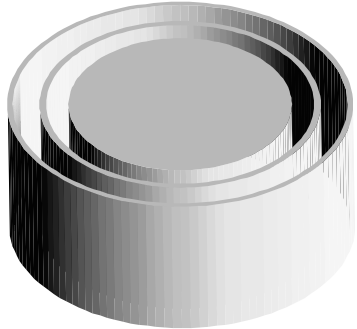
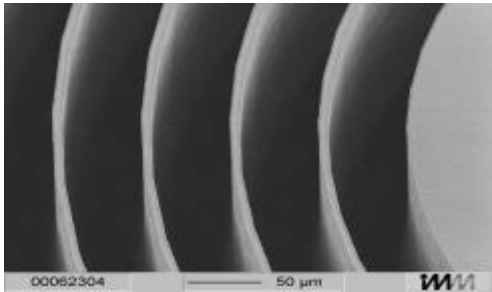
Rauheit



Profil \bar{D} Form



Tiefe



Messaufgaben in der Mikrosystemtechnik

Struktur	Material	Messaufgabe	Messbereich	Toleranz / geford. Messuns.
Mikrosystemtechnik				
Düse in Zerstäuber	Si	Innenzylinder	Tiefe: 5µm Durchm.: 2µm	0,2µm 0,1µm
Mikrogetriebe	ZrO ₂	Außendurchm.	1,35mm	< 2µm
Düsenplatte	Si	Bohrungen: Abstand Durchmesser	10mm x 48mm 1mm; 30µm	1µm
Mikrospektrometer Gitter / Faserkanäle	PMMA	Form; Lage; Dimension	15mm x 60mm x 0,5mm	/10nm - 100nm
Mikroröhre	Keramik	Innenzylinder Außenzylinder	Tiefe 10mm Durchm.: 2,5mm Durchm.: 25µm	1µm 0,1µm
Bohrer	HSS; Cobalt	Durchm.; Formelemente	Länge bis 5mm Durchm.: ≥ 25µm	4µm

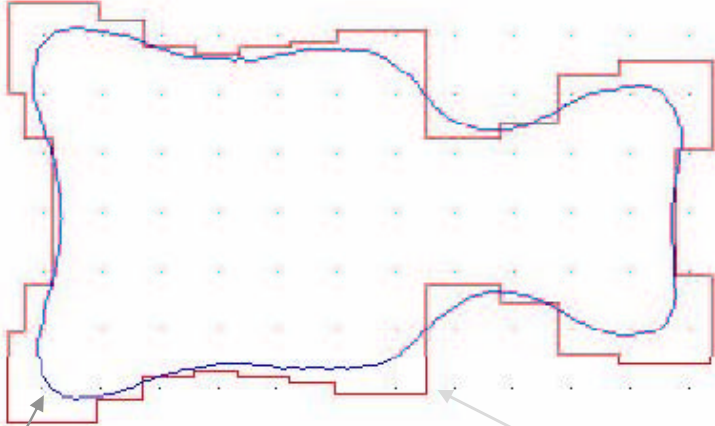
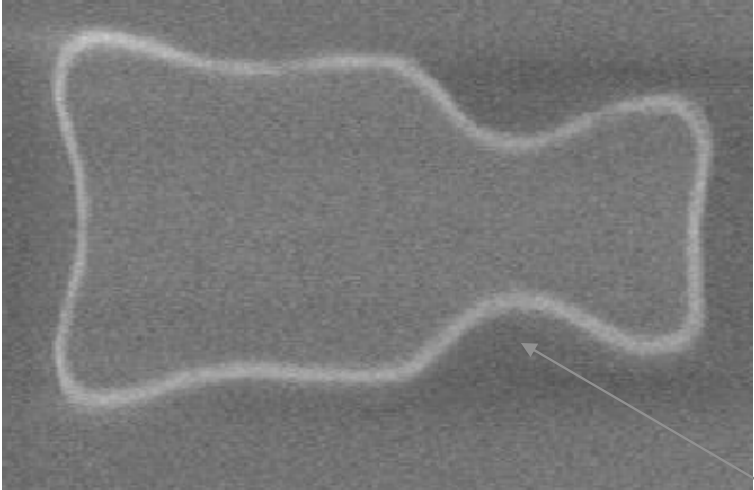
Messaufgaben in der IC-Technologie

From:
Int'l Technology
Roadmap for
Semiconductors
(2004)

Measurand or specification for production control tolerances	2004, optical lithography with ArF 193 nm	2007, optical lithography with ArF 193 nm and water immersion	2013, EUV lithography with 13 nm in vacuum
<i>DRAM half pitch (nm)</i>	90	65	32
<i>MPU printed Gate Length (nm)</i>	53	35	18
<i>Wafer printed gate CD control (nm)</i>	3.3	2.2	1.2
<i>Wafer dense line CD control (nm)</i>	11.0	8.0	3.9
<i>Wafer line width roughness (nm, 3 s) (new definition discussed)</i>	3.0	2.0	1.0
<i>Wafer CD metrology tool precision for isolated lines (nm, 3 s, P/T=0.2)</i>	0.7	0.4	0.2
<i>Wafer CD metrology tool precision for dense lines (nm, 3 s, P/T=0.2)</i>	2.2	1.6	0.8
<i>Wafer overlay control (nm)</i>	32	23	12.8
<i>Wafer overlay output metrology precision (nm, 3 s)</i>	3.2	2.3	1.3
<i>Mask minimum primary feature size (to be controlled for CD, placement, nm)</i>	148	98	52
<i>Image placement (multipoint 4X, nm)</i>	19	14	8
<i>Mask image placement metrology (precision, P/T=0.1, nm)</i>	1.9	1.4	0.8
<i>Mask CD metrology tool precision (P/T=0.2 for isolated lines, binary, nm)</i>	0.8	0.4	0.3
<i>Mask CD metrology tool precision (P/T=0.2 for dense lines, nm)</i>	1.8	1.0	1.1
<i>PSM phase mean deviation, degree</i>	2	1	-
<i>Phase metrology precision, P/T=0.2, °</i>	0.4	0.2	-
<i>Equivalent oxide thickness (EOT) (nm) for stacked capacitor</i>	2.3	0.8	0.5
<i>DRAM stacked capacitor dielectric physical thickness (nm)</i>	12.7	10	7.5
<i>DRAM capacitor dielectric physical thickness meas. precision (nm, 3 s)</i>	0.05	0.04	0.03

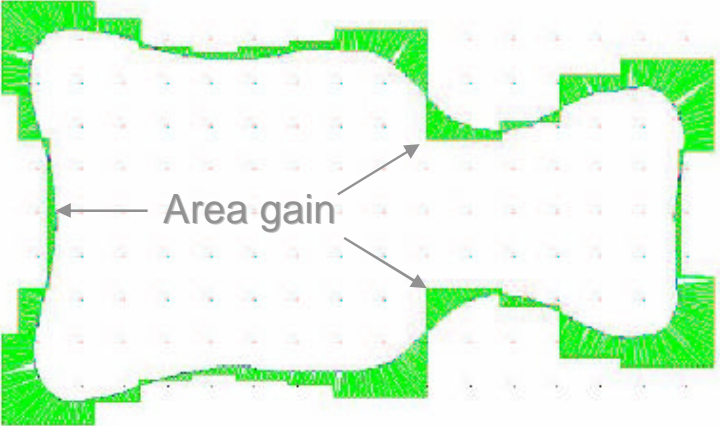
Messaufgaben in der IC-Technologie

Messung der ‚pattern fidelity‘



measured

designed



OPC features

Messaufgaben in der IC-Technologie

Struktur	Material	Messaufgabe	Messbereich	Toleranz / Precision Messung
IC-Technologie (aus Int'l Technology Roadmap for Semiconductors, 2004)				
Linien (Einzel / Mehrfach)	Chrom auf Quarz	CD control	25mm x 32mm	0,8 nm / 1,8 nm
Konzentrische Overlay-Strukturen	Si	Overlay control	25mm x 32mm	32 nm 3,2 nm
Kreuzförmige Markierungen	Chrom auf Quarz	Mask image placement	150mm x 150mm	19 nm 1,9 nm

Plane und sphärische Röntgenspiegel

Ni/C multilayer (PLD)

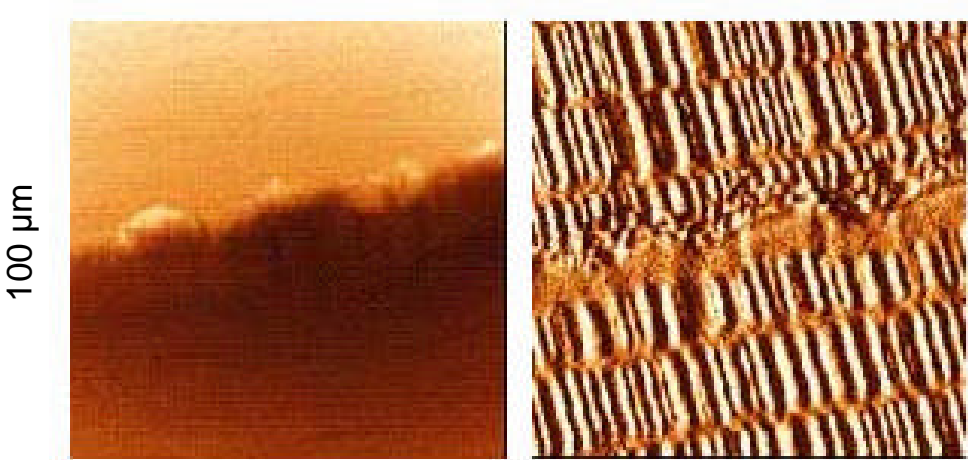
- hochpräzise und reproduzierbare Schichtdicke der Einzelschichten
- Dicke einer Schichtperiode (Ni+C): 3,23 nm



Elektronenstreuung am Silicium-Substrat und am multilayer

Messaufgaben in der Nanotechnologie

MFM (magnetic force) - Bilder von Domänen

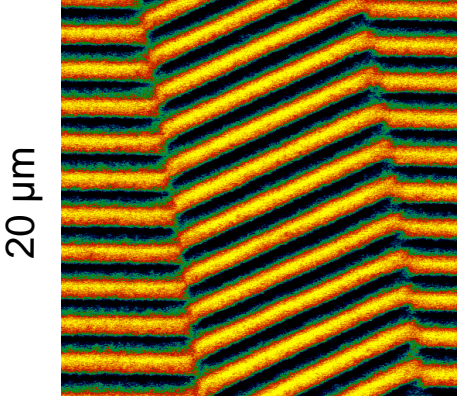


Topografie

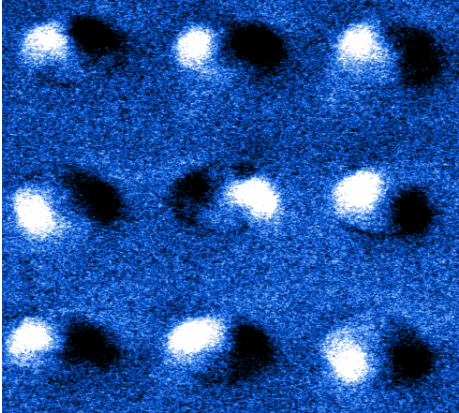
MFM-Bild

Effekte beim head/disk crash

Einzeldomän-Co-Partikel (240 nm x 160 nm);
die Magnetisierung des mittleren Partikels ist
bewusst geändert worden.

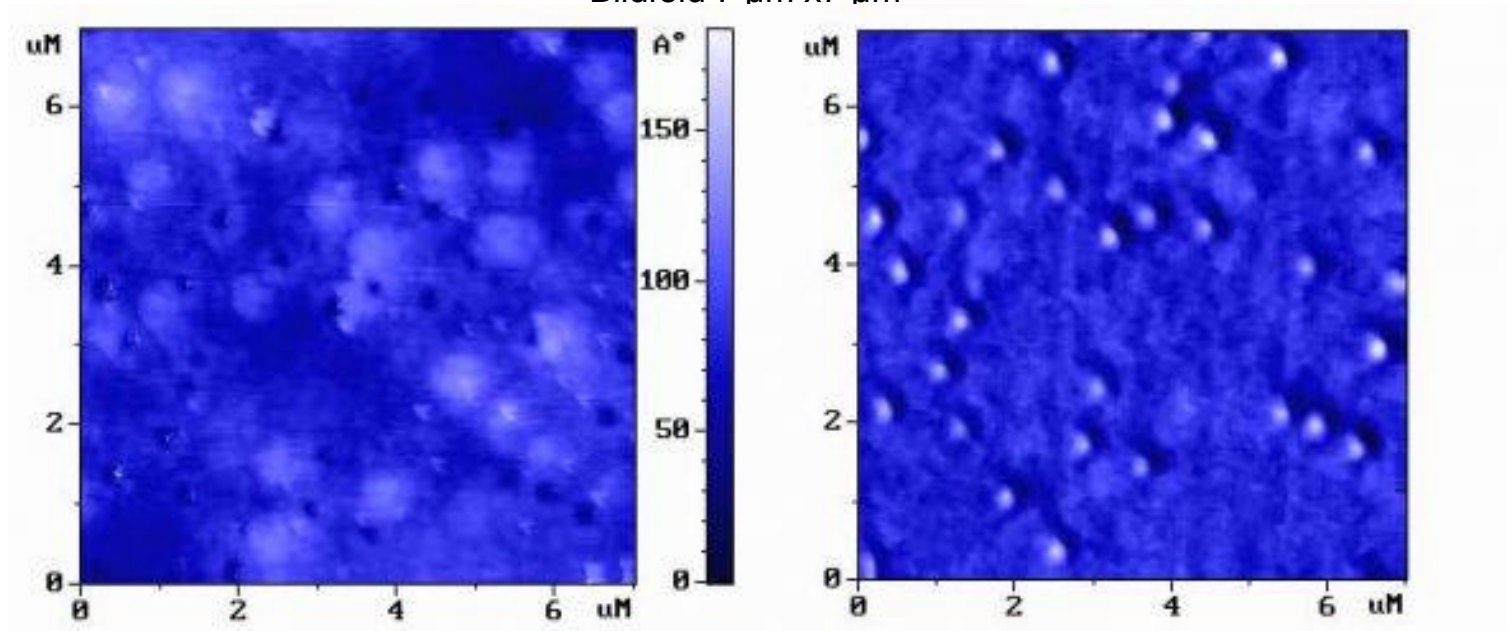


MFM-Bild von magnetischen Domänen auf einer Speicherplatte



SNOM (nahfeldoptisches) Bild von Quantum Dots

Bildfeld 7 μm x 7 μm



Shear Force (Topografie)

SNOM Bild;
Lichtquelle: He-Cd laser (442 nm)

Messaufgaben in der Nanotechnologie

Struktur	Material	Messaufgabe	Messbereich	Toleranz / geforderte Messuns.
Nanotechnologie				
Schichten auf Festplatte	organisch und anorganisch	Dicke verschiedener Schichten; Rauheit	100mm x 100mm x einige 10nm	/ < 1nm
Multilayer-Röntgen-Reflektoren (bis zu 100 Schichten)	anorganisch	Dicke der Einzelschichten	Einige cm ² bis + 1m ²	/ < 0,1nm
Substrate f. Röntgenspiegel	Keramik; Quarz	Rauheit der Oberfläche	Einige cm ²	/ < 0,1nm rms
Magn. Strukturen auf Festplatten	Metallische, organische Schichten	Form der magn. Domänen <i>Magnetischer Fluss</i>	100µm x 100µm x einige 10nm	einige nm
Quantum dots	Halbleiter	Fluoreszenz; Größe	100µm x 100µm x einige 10nm	/einige nm
Nanopulver	C; Oxide, Metalle	Durchmesser; Rauheit <i>„Chemie“</i>	100µm x 100µm x 100nm	1 ...5 nm ~ 1nm rms
Gitter f. Faserkommunikation	Glas; Kunststoff	Gitterkonstante Einzelabstände	100µm x 100µm x	< 1nm < 1nm

Messaufgaben und geforderte Unsicherheiten

	Mikrosystemtechnik	IC-Technologie	Nanotechnologie
Struktur	Strukturen auf Masken, Wafern oder anderen Substraten; Einzelstrukturen; verschiedenste Größen	Strukturen auf Masken und Wafern	Strukturen auf Wafern o. a. Substraten; Einzelstrukturen auf Substraten adsorbiert
Umgebung	Luft; (Vakuum)	Luft; Vakuum	Luft; Vakuum; UHV; Flüssigkeit
Material	Si; Keramiken; Glas; Metalle; Kunststoffe; Maskensubstrate; Photoresiste	Si und andere Halbleiter; Maskensubstrate; Metalle; Photoresiste	Si und andere Halbleiter; Keramiken; Metalle; Moleküle; Makromoleküle; biologisches Material;
Probengröße	Masken und Wafer bis zu 6" (oder mehr); Einzelstrukturen bis zu 50mm x 50mm; Dicke bis zu 25mm	Masken und Wafer aller Größen (bis 12")	Wafer und andere Substrate bis zu 4"; Teile von Substraten bis 10mm x 10mm; Dicke bis zu einigen mm
Messtyp	„2 1/2“ – 3-dimensional; Aspektverhältnis bis zu 50 (oder mehr)	~ 2-dimensional; Aspektverhältnis < 1	„2 1/2“ (– 3)-dimensional; Aspektverhältnis ~1
Positionierbereich	bis zu 150mm x 150mm x 25mm	175mm x 175mm bis 300mm x 300mm (x einige 10µm)	bis zu 100mm x 100mm; überwiegend 2D ... 2 1/2D x 1mm
Messbereich	bis zu 50mm x 25mm	175mm x 175mm bis 300mm x 300mm; 25mm x 32mm für d < 10µm	~ 100µm x 100µm
Messaufgaben:	<ul style="list-style-type: none"> Abstand < 50mm Breite > 1µm Höhe < 1mm Schichtdicke < 1µm Rauheit/Textur < 1µm rms 	<ul style="list-style-type: none"> < 175mm > 80mm < 10µm > 2nm < 10nm rms 	<ul style="list-style-type: none"> < 100µm < 1µm < 250nm < 50nm < 50nm rms
Messunsicherheit	~ 100 Nanometer	einige Nanometer	< Nanometer

2D Profil ⇒
3D Form

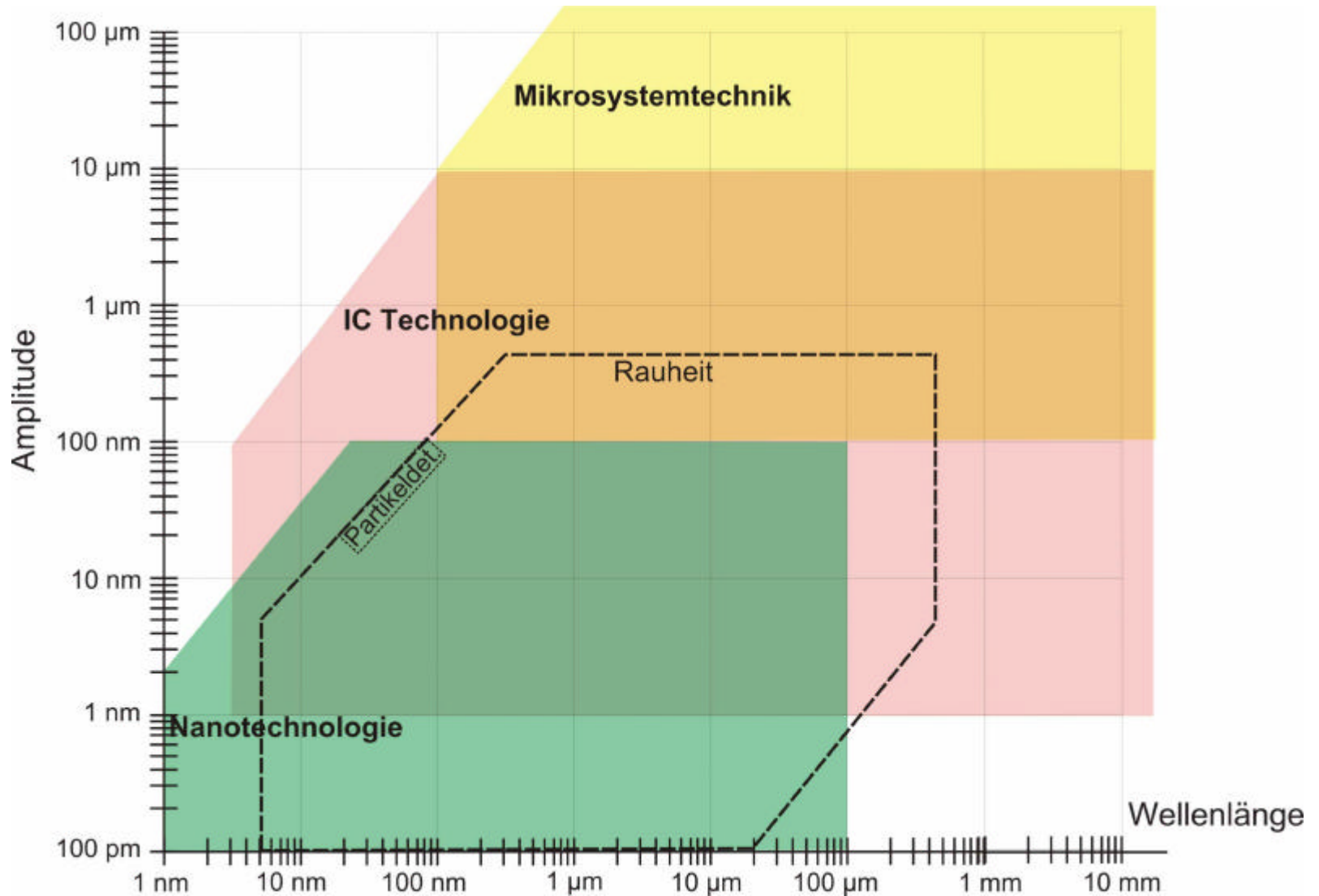
⇒ 2D Form

2D ... 2 1/2D x 1mm
Profil

chemische
Eigenschaften

+ mechanische,
optische,
elektronische,
magnetische,
chemische,
molekulare
Eigenschaften

Messaufgaben - Übersicht



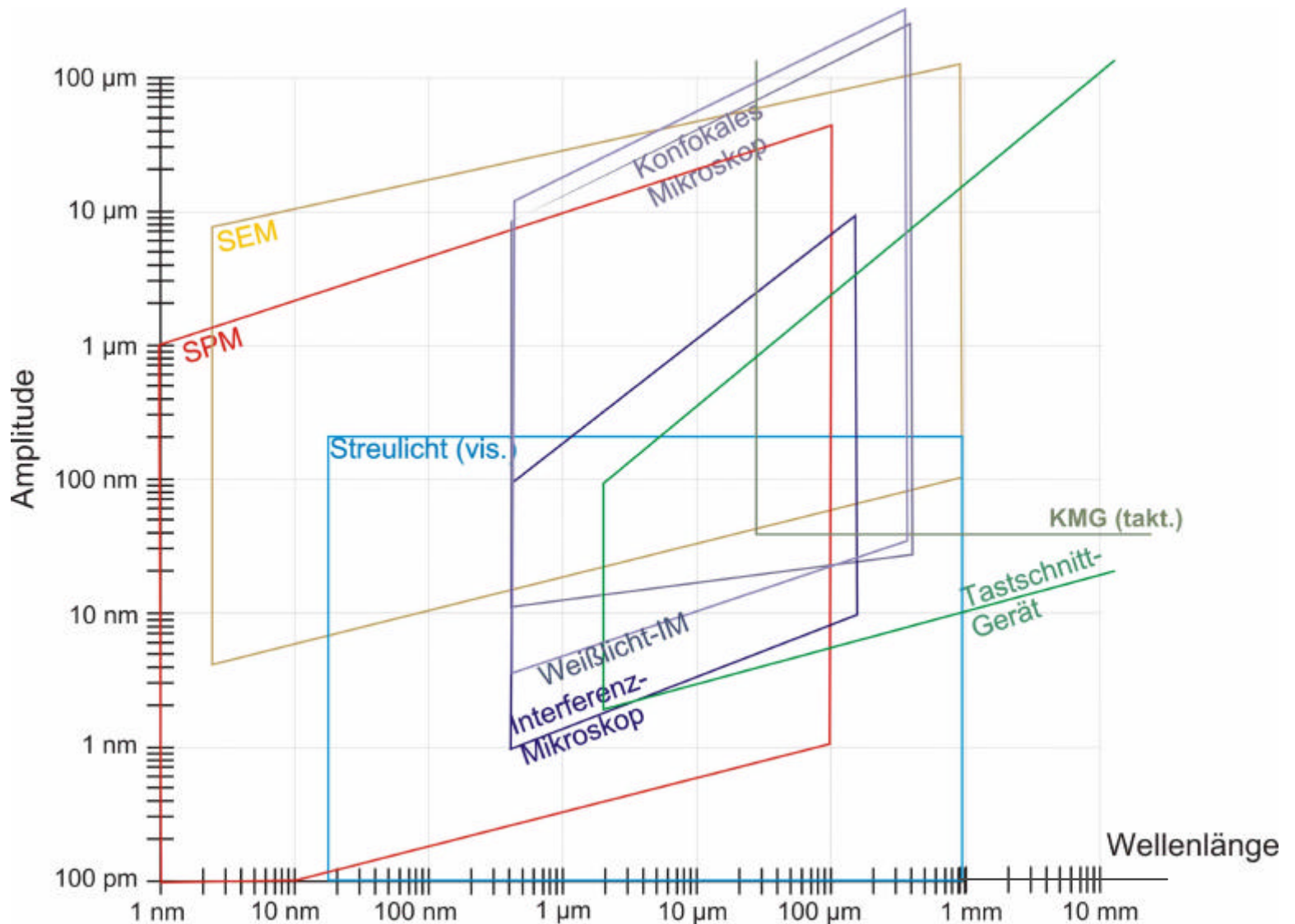
Messmethoden - Übersicht

Methode	Messbereich		Grenz-Aspekt-Verhältnis
	lateral (μm)	vertikal (μm)	
1-dimensional			
Ellipsometrie	500 - einige mm	einige μm <i>Eindringtiefe (materialabhängig)</i>	
Röntgen-Reflektometrie	einige mm	$\sim 1 \mu\text{m}$ <i>Eindringtiefe (materialabhängig)</i>	
Streulicht	0,5 - einige mm	einige $0,1\mu\text{m}$	
2-dimensional			
Licht-Mikroskopie	0,37 - 56 4,5 - 2200	wenige μm <i>Schärfentiefe</i> einige $10\mu\text{m}$	
Rasterelektronenmikroskopie (REM)	0,002 - 10 0,05 - 5000	einige $100\mu\text{m}$ <i>Schärfentiefe</i>	

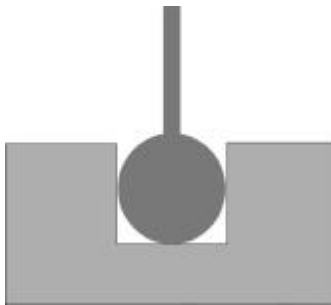
Messmethoden - Übersicht

Methode	Messbereich		Grenz-Aspekt-Verhältnis
	lateral (µm)	vertikal (µm)	
2 1/2-dimensional			
Interferenzmikroskopie (Phasenschieb.) (Weißlicht)	0,37 - 56 4,5 - 2200	0,001 - 1 0,005 - 20	~0,4
	0,37 - 56 4,5 - 2200	0,005 - 100 0,05 - 500	0,4 16
Konfokale Mikroskopie	0,3 - 40 1,3 - 400	0,01 - 15 0,02 - 600	0,4 4
	Streifenprojektion	0,4 - 380 2 - 1000	0,4 - 6 2 - 18
3-d-Streifenprojektion		0,4 - 2000 5 - 100 mm	0,08 - 1000 5 - 70 mm
Koordinatenmessung (Opt. Antastung)	1 - 1 m	0,1 - 1 m	2
REM mit Stereoauswertung	0,002 - 10 0,05 - 5000	0,005 - 10 1 - 5000	3 1,4
	Profilometrie	0,2 - 5000 2 - 100 mm	0,3 nm - 20 0,01 - 1000
Rastersondenmikroskopie (SPM)		0,001 - 150	0,1 nm - 15
3-dimensional			
CD-Rastersonden- mikroskopie	0,36 - 75	0,1 nm - 2,8 (15)	7
Koordinatenmessung (taktil)	100 - 1 m	0,1 - 1 m	100

Messmethoden - Übersicht *Messbereich*



Messmethoden - Aperturen und Aspektverhältnisse



CMM probe



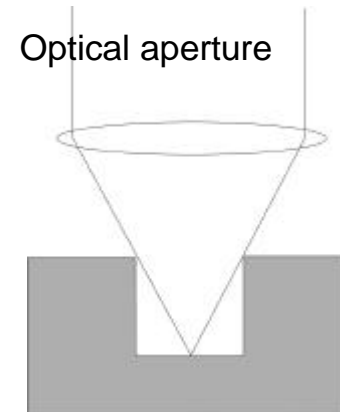
Stylus



AFM tip

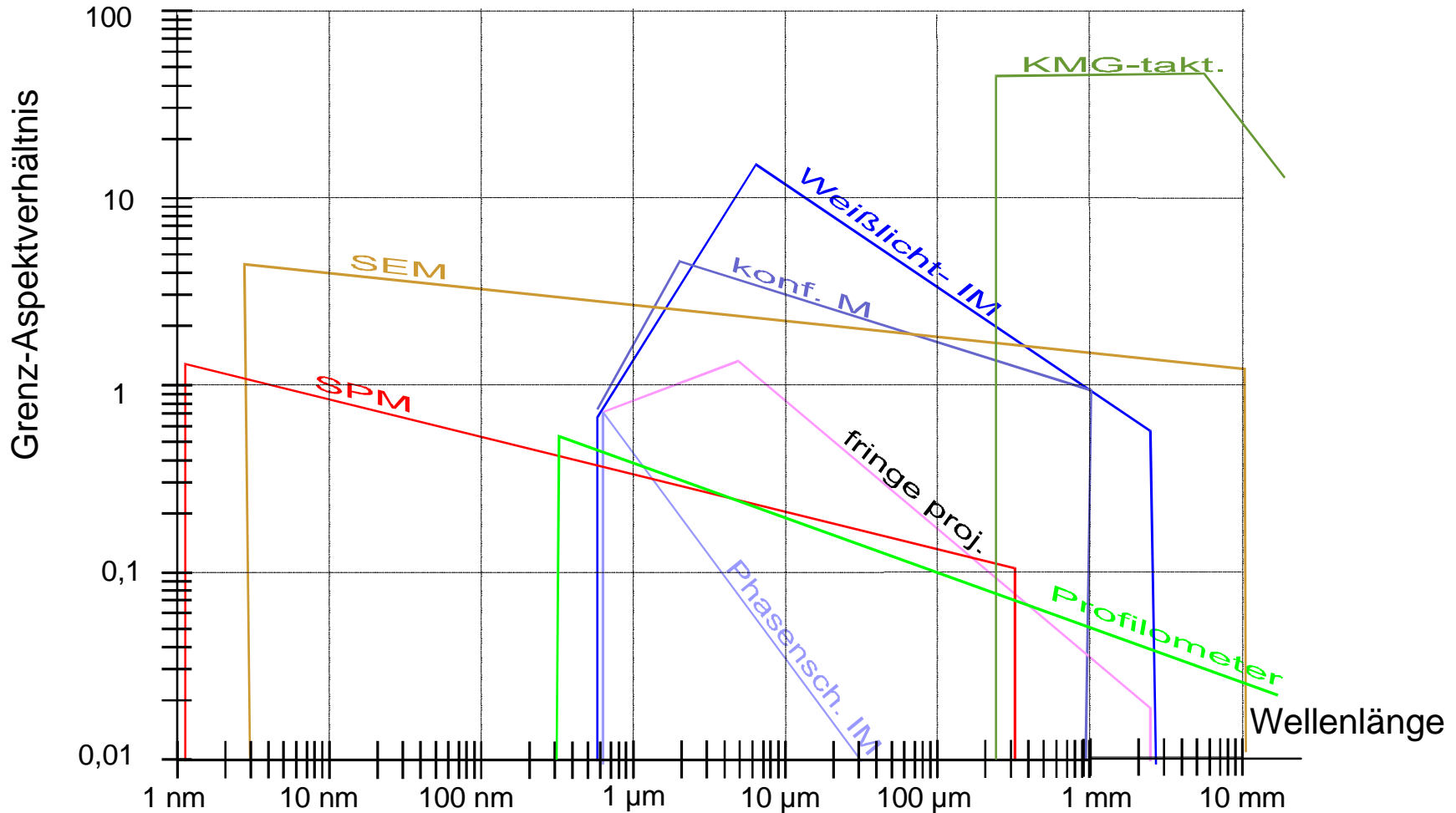


'CD' AFM tip

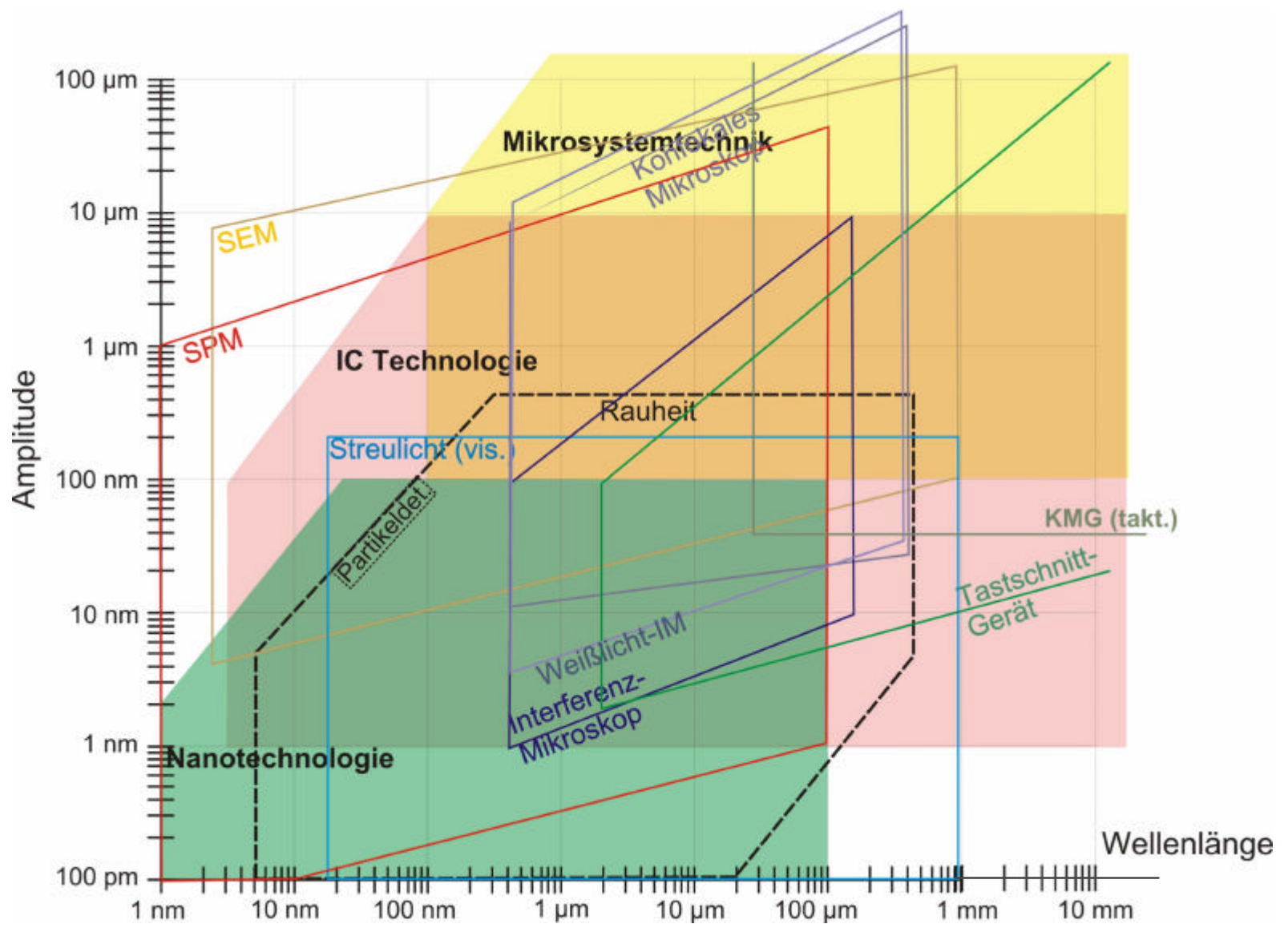


Optical aperture

Messmethoden - Übersicht Grenz-aspektverhältnis



Messaufgaben - Messmethoden



Grundlage ist die Kalibrierung der Geräte mit geeigneten Normalen

- **Bestimmung der Abbildungseigenschaften - z.B.**
 - Referenzebene (Bildebene, Scanebene, ..)
 - Wechselwirkungsbereich (eff. Fokusbereich, Tasterform, ..)**und deren Berücksichtigung**
- „Grundkalibrierung“ des Koordinatensystems (x, y, z, \mathbb{D})
- **Aufgabenbezogene Kalibrierung - z.B.**
 - Linienbreite
 - Rauheitskennwerte
 - Kontur
 - Form

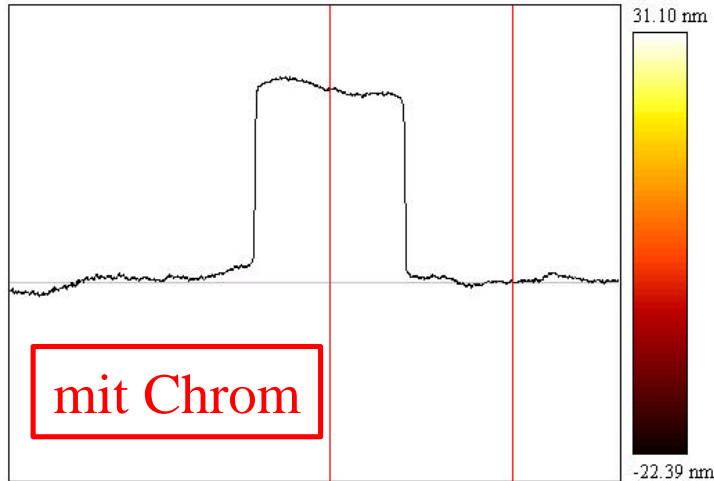
Zur Erreichung kleinster Unsicherheiten müssen die spezifischen Eigenschaften des Sensors verstanden sein

Vergleichbarkeit - *Eigenschaften verschiedener Mikroskope*

SiO₂ (20 nm) Linie auf Si mit und ohne Chrom-Beschichtung im Phasenschiebemodus (IM)

hasche20nm_chrombeschichtet_PSM. 640x480
Hasche 20nm Area: 408.9 x 306.7 um
2002-05-28 12:26
Op: L.Jusko
Length: 406.5 um

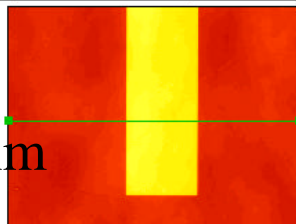
Smooth Phase



Rq: 7.197 nm
Ra: 6.354 nm
Rt: 21.18 nm
dZ: 21.78 nm
dX: 121.2 um
PLANE

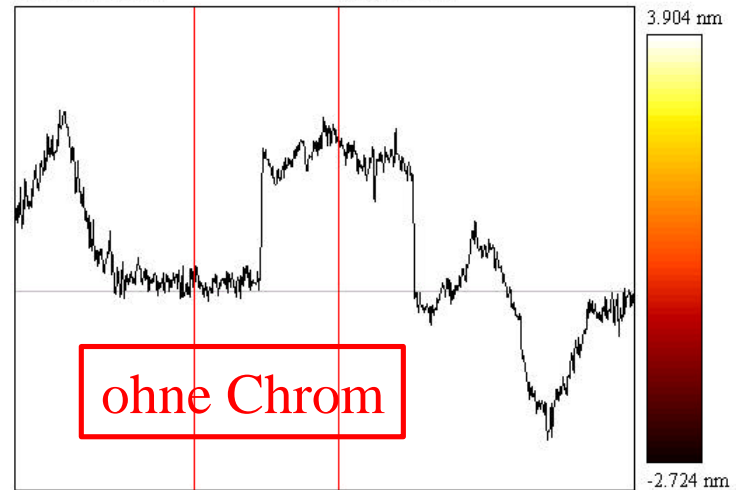
21,78 nm

ObjX: 20.35
WL: 549.7 nm



hasche20nm_unbeschichtet_PSM.MM. 640x480
Hasche 20nm Area: 408.9 x 306.7 um
2002-05-28 12:21
Op: L.Jusko
Length: 406.5 um

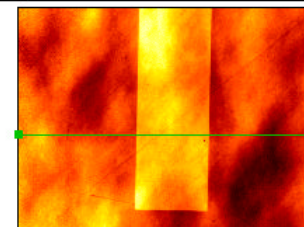
Smooth Phase



Rq: 0.865 nm
Ra: 0.789 nm
Rt: 3.418 nm
dZ: 1.949 nm
dX: 94.55 um
PLANE

1,9 nm

ObjX: 20.35
WL: 549.7 nm

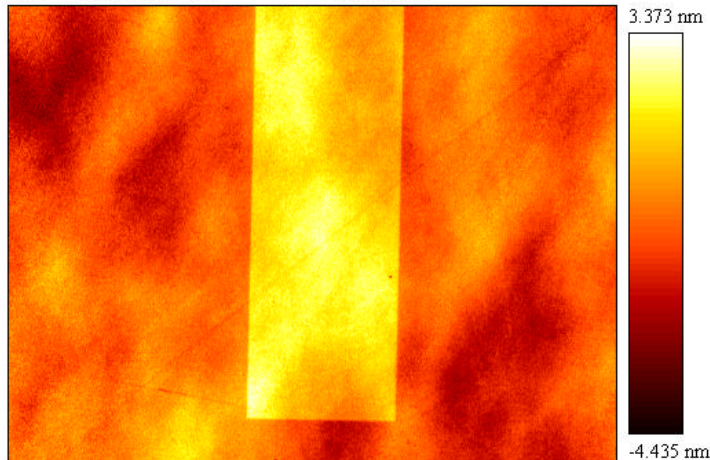


Vergleichbarkeit - *Eigenschaften verschiedener Mikroskope*

SiO₂ (20 nm) Linie auf Si ohne Chrom-Beschichtung im Weißlichtinterferometer-Modus

hasche20nm_unbeschichtet.MIMD
Hasche 20nm
2002-05-28 12:19
Op: L.Jusko
Area: 408.9 x 306.7 um

ObjX: 20.35
WL: 538.6 nm
Wave 560 M



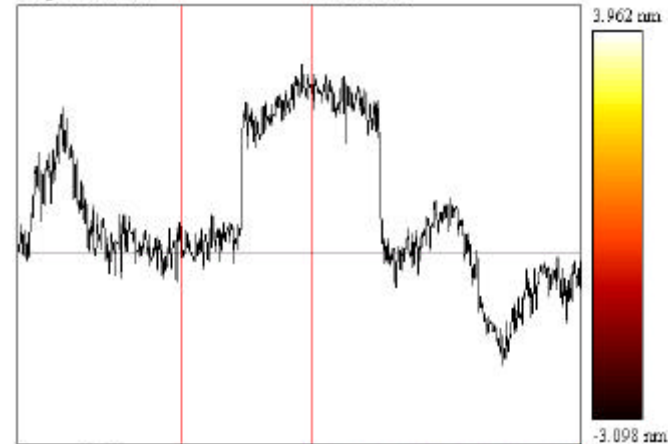
Sq: 1.132 nm
Sa: 0.899 nm
St: 7.808 nm
640x480

PLANE

20X

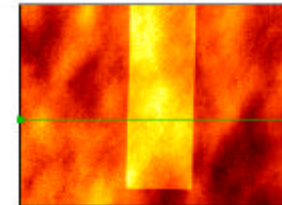
$h=2,3$ nm

hasche20nm_unbeschichtet.MIMD 640x480
Hasche 20nm Area: 408.9 x 306.7 um
2002-05-28 12:19
Op: L.Jusko
Length: 406.5 um Wave 560 M



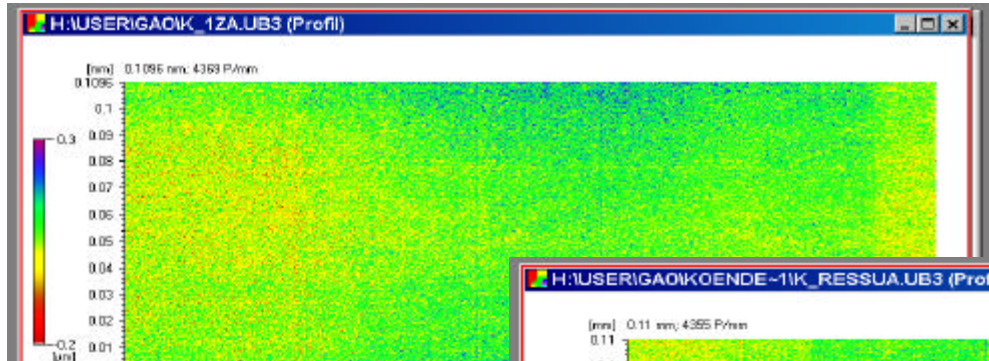
Rq: 0.948 nm
Re: 0.847 nm
Rt: 3.569 nm
eZ: 2.385 nm
eX: 94.55 um
PLANE

ObjX: 20.35
WL: 538.6 nm



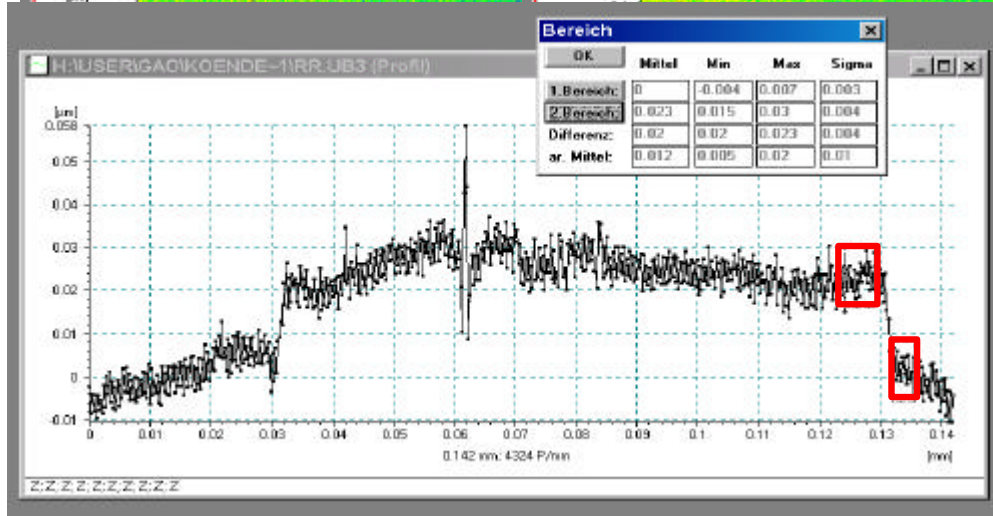
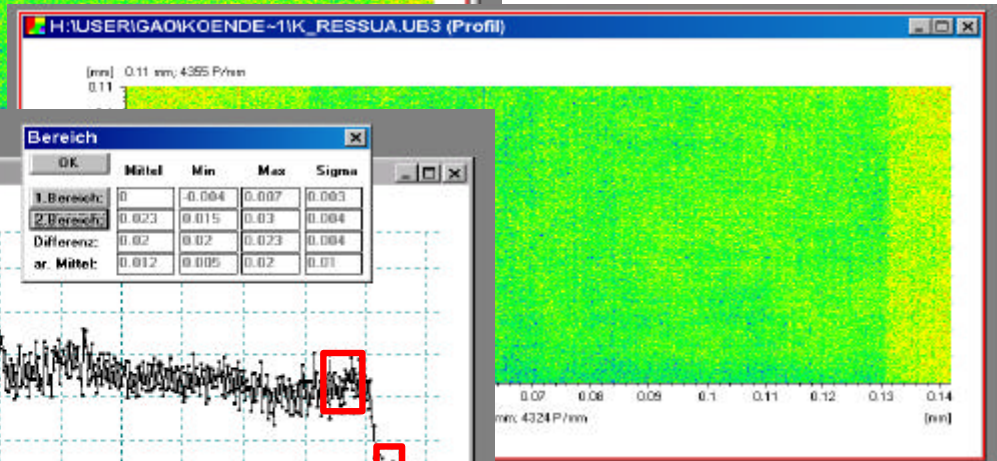
Vergleichbarkeit - *Eigenschaften verschiedener Mikroskope*

SiO₂ (20 nm) Linie auf Si ohne Chrom-Beschichtung
im konfokalen Modus



1. Messung

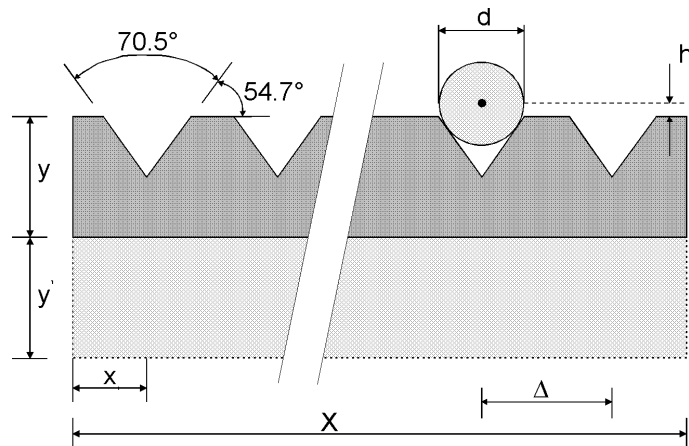
16 Messungen



Mittelung über alle Linien
und 16 Messungen

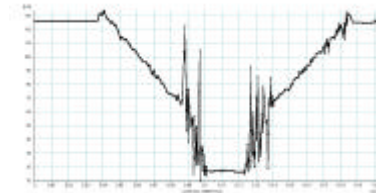
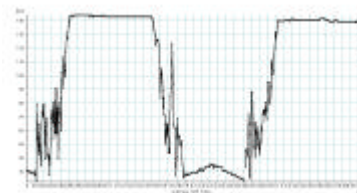
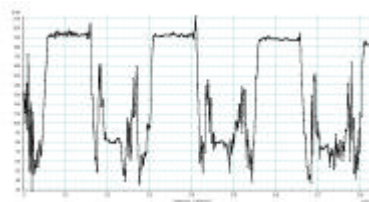
Vergleichbarkeit - *Eigenschaften verschiedener Mikroskope*

Geometrische Effekte: Reflexionen in einer V-Nut; konfokales Mikroskop



V-Nuten in Si

$\Delta = 250 \mu\text{m}$; $x = 2,75 \text{ mm}$; $d = 125 \mu\text{m}$;
 $h = 10 \mu\text{m} \pm 10 \mu\text{m}$

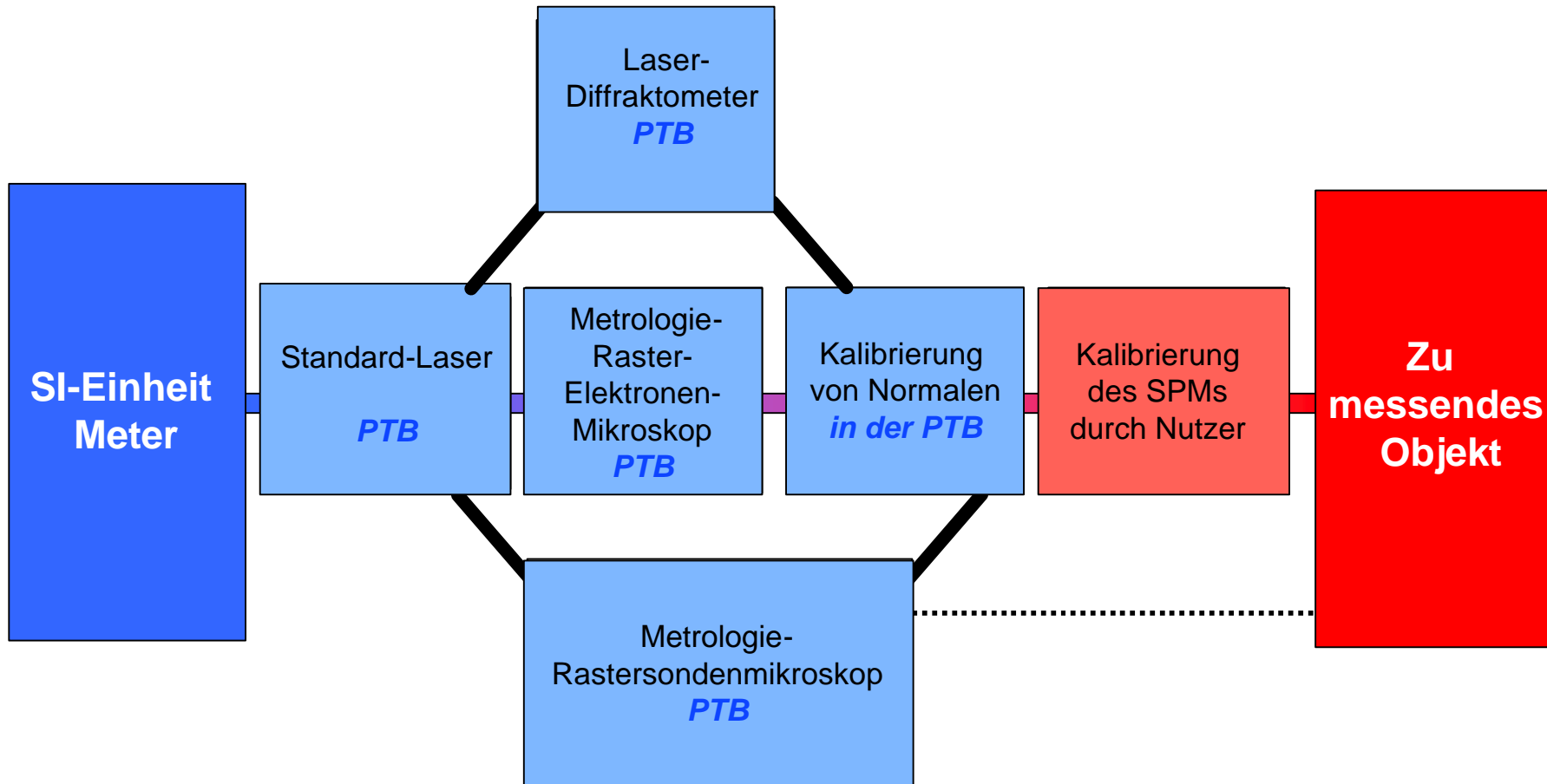


Objektive: 10X

20X

40X

Typische "Rückführbarkeitskette" am Beispiel eines Rastersondenmikroskops



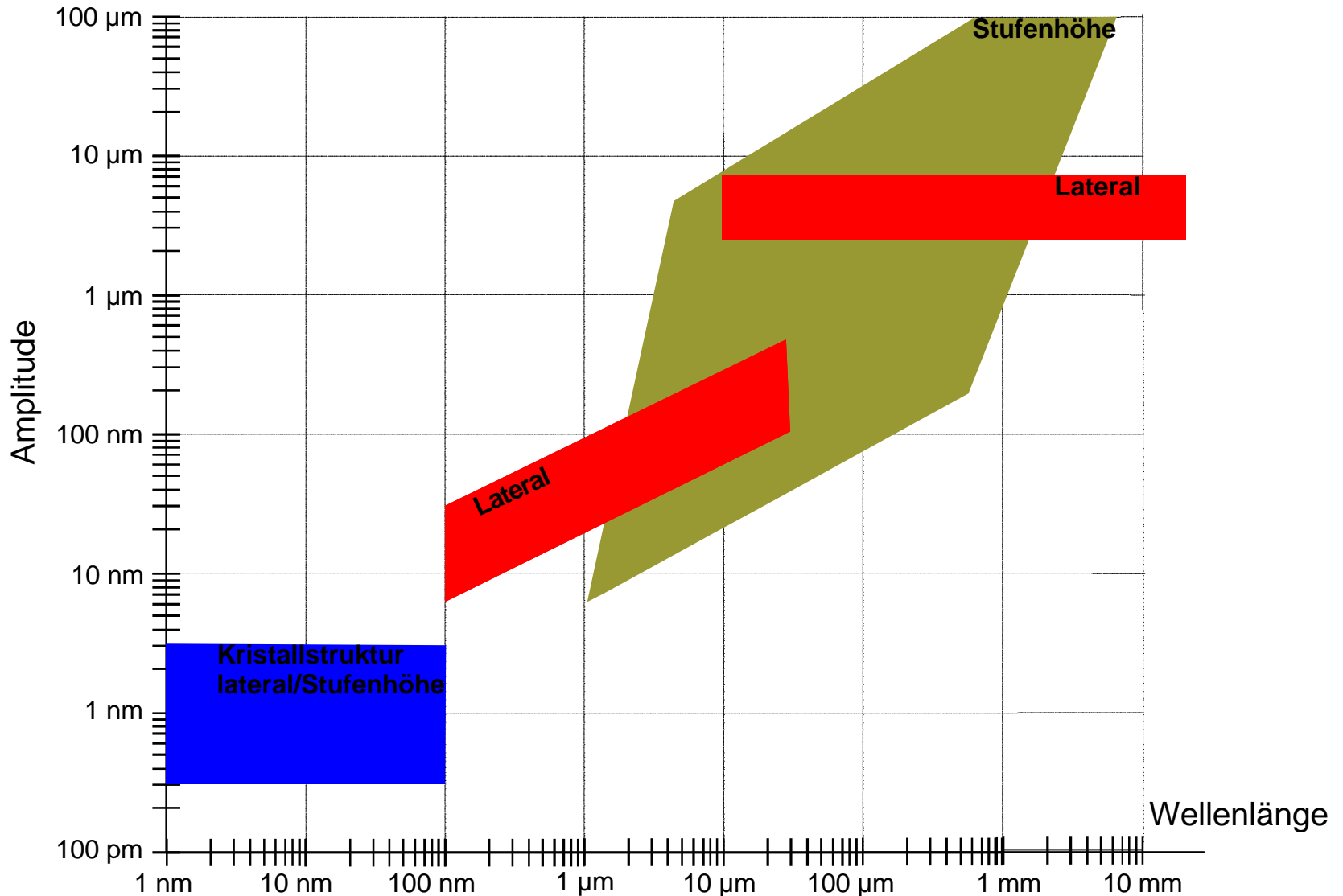
Nationale Metrologie-Institute (NMI)

Anwender von SPM (Industrie, Universitäten, Institute, etc.)

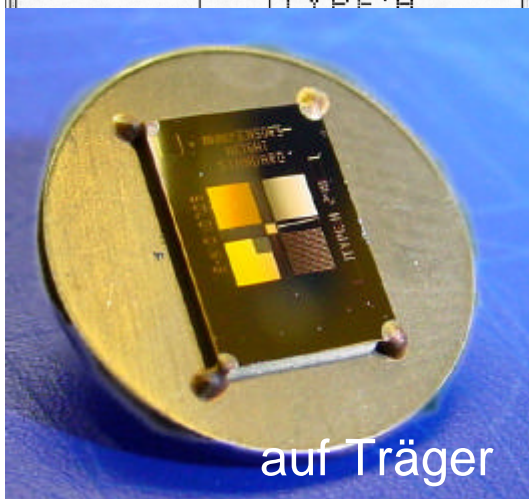
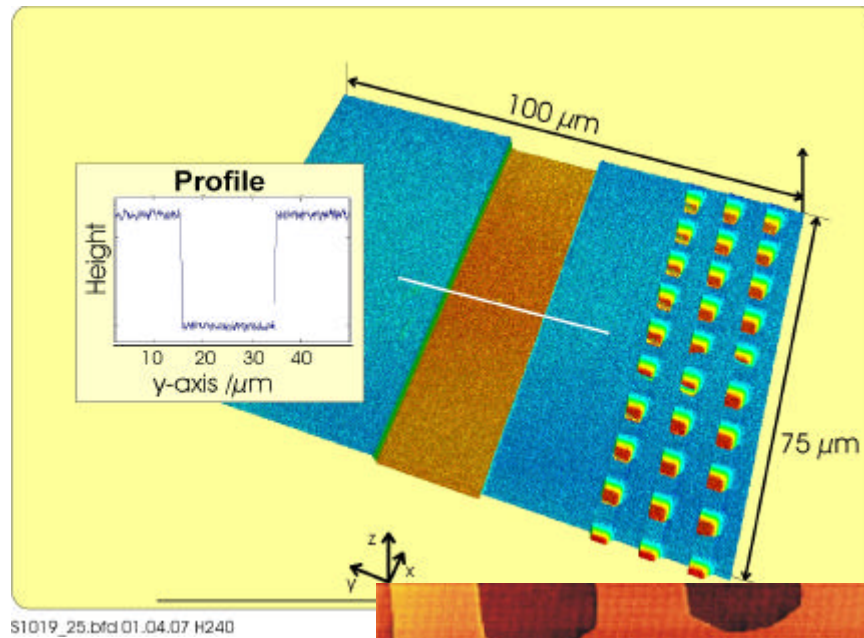
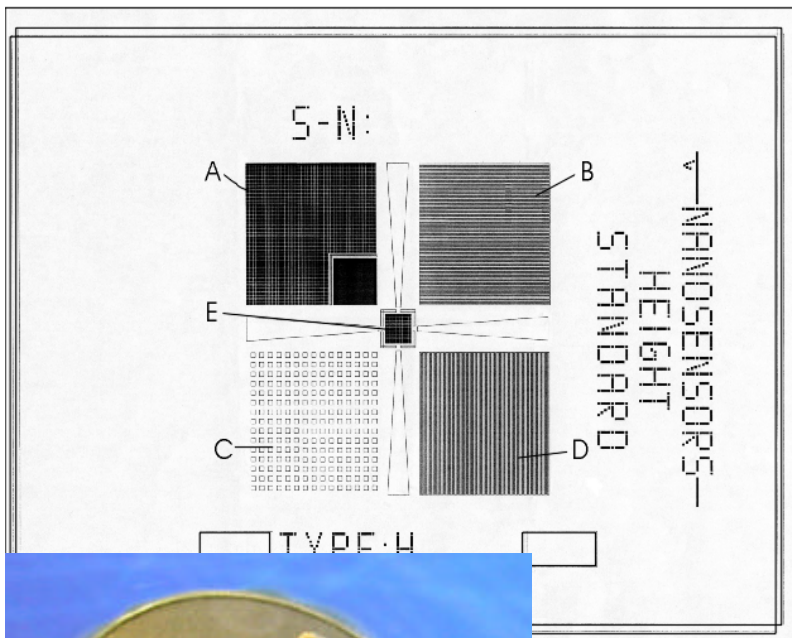
Definition der
SI-Einheit

Messung
am aktuellen Objekt

Kalibriernormale - „Grundkalibrierung“

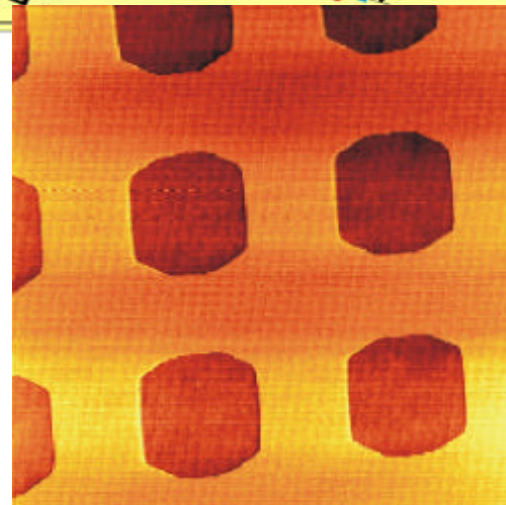


Kalibriernormale – Beispiel *Stufenhöhe*



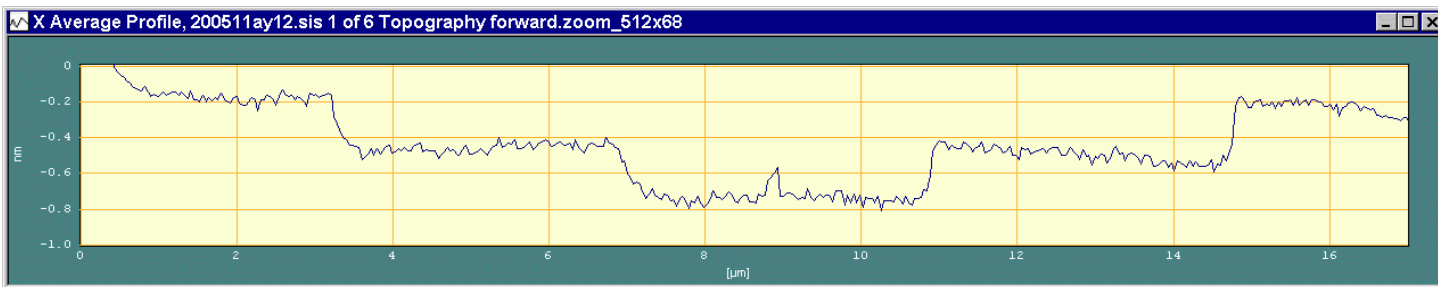
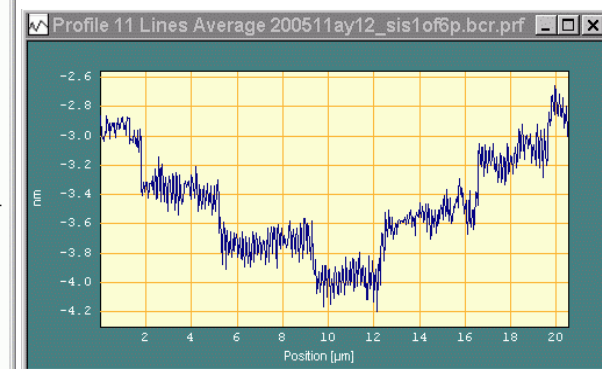
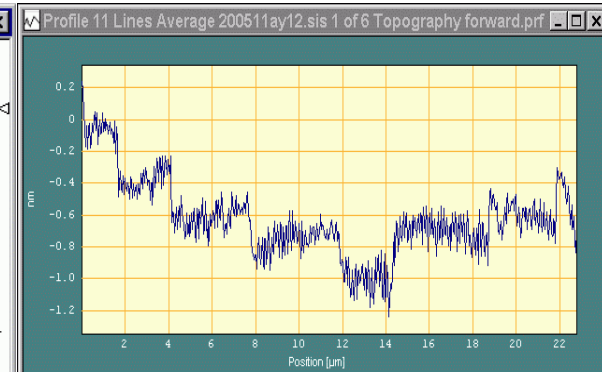
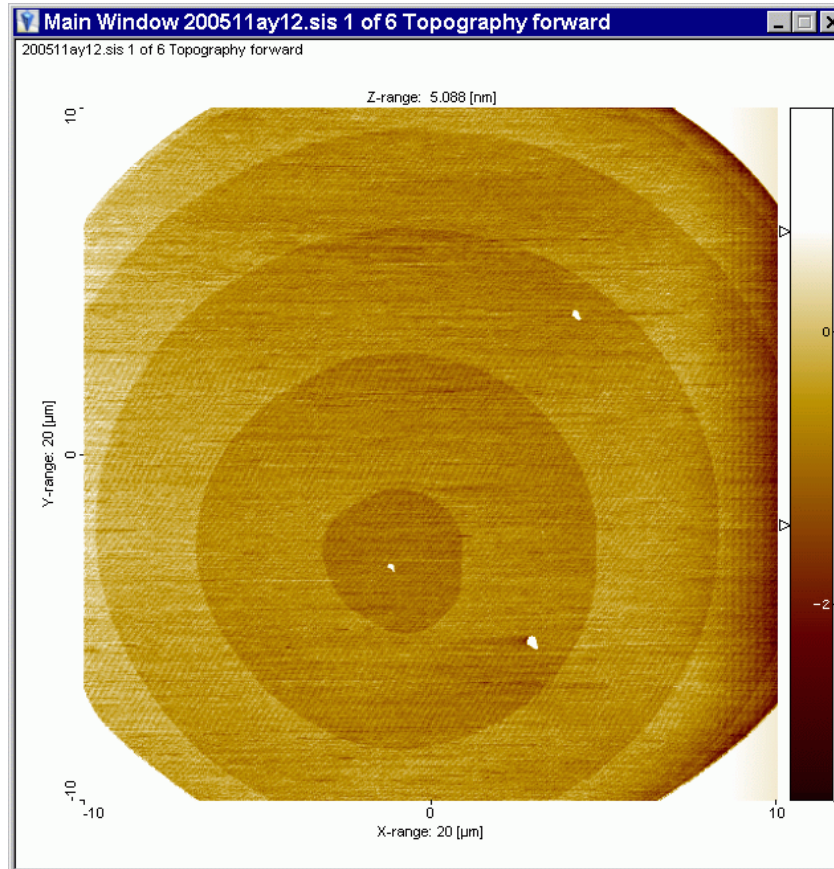
Stufenhöhen-Normale

1 & 2 dim Strukturen in Silicium; ~ 7 nm ... 3 μm

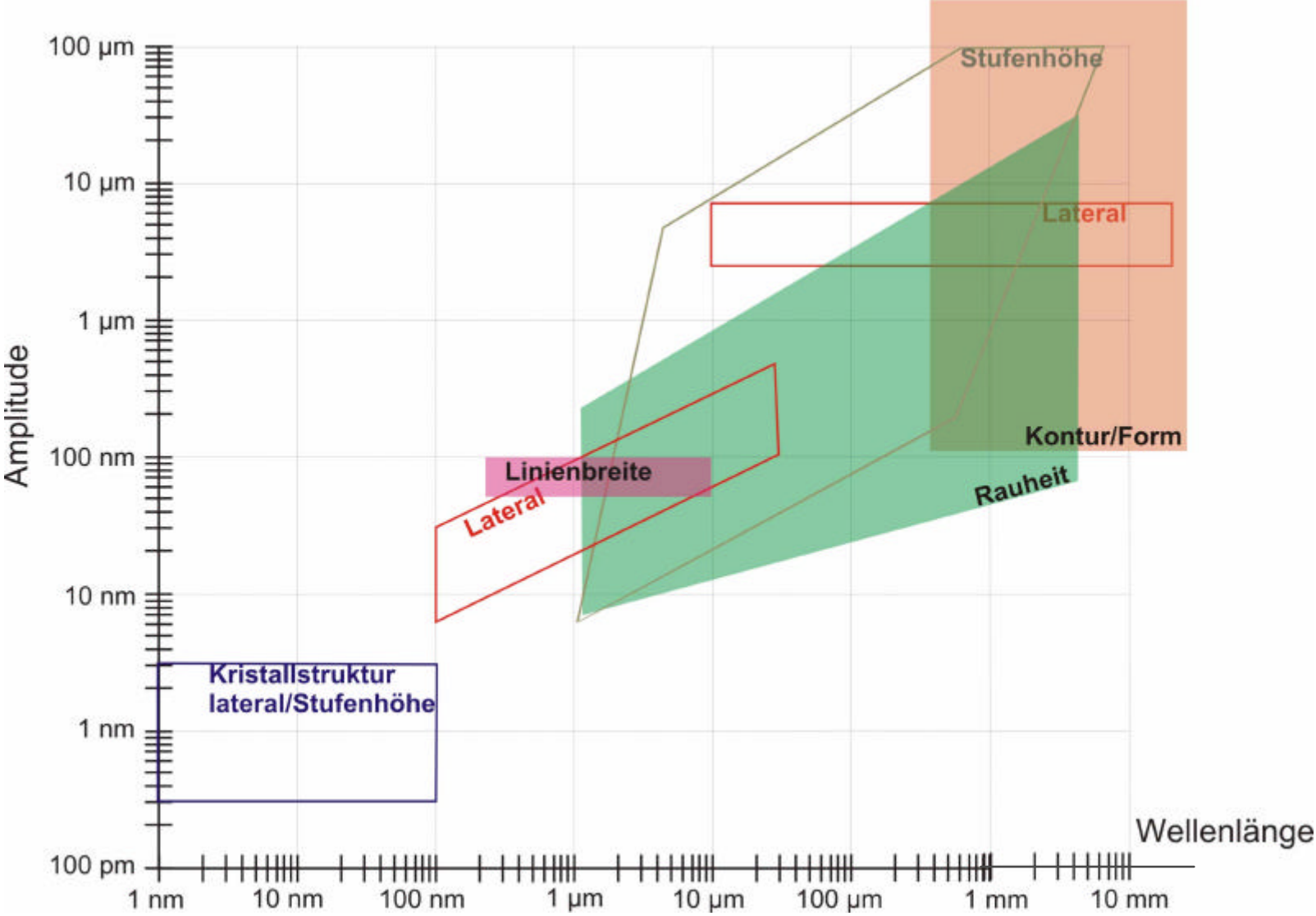


Kalibriernormale – Beispiel *Stufenhöhe*

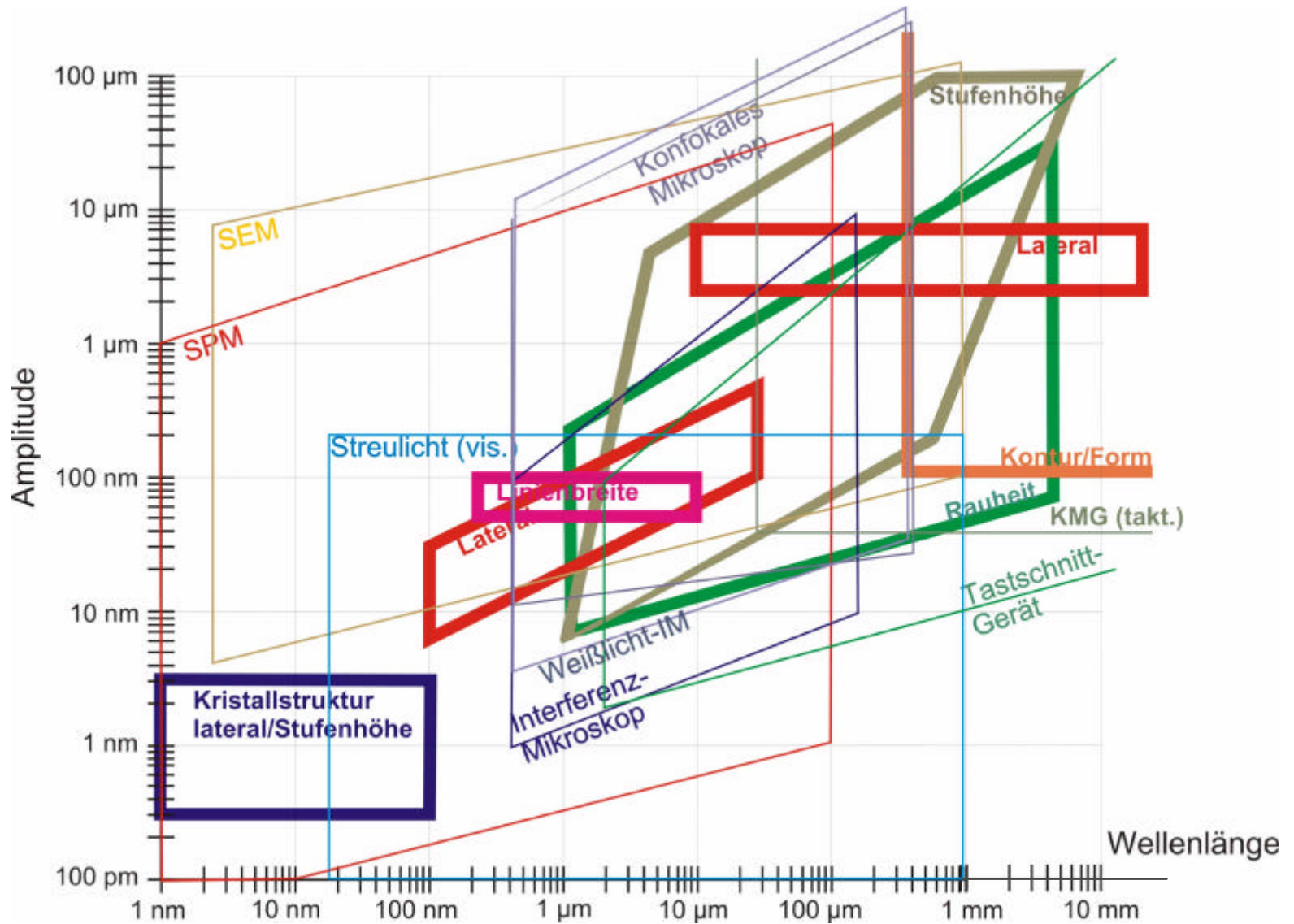
Monoatomare
Stufen auf
Si (111):
0,314 nm



Kalibriernormale - „aufgabenbezogene Kalibrierung“

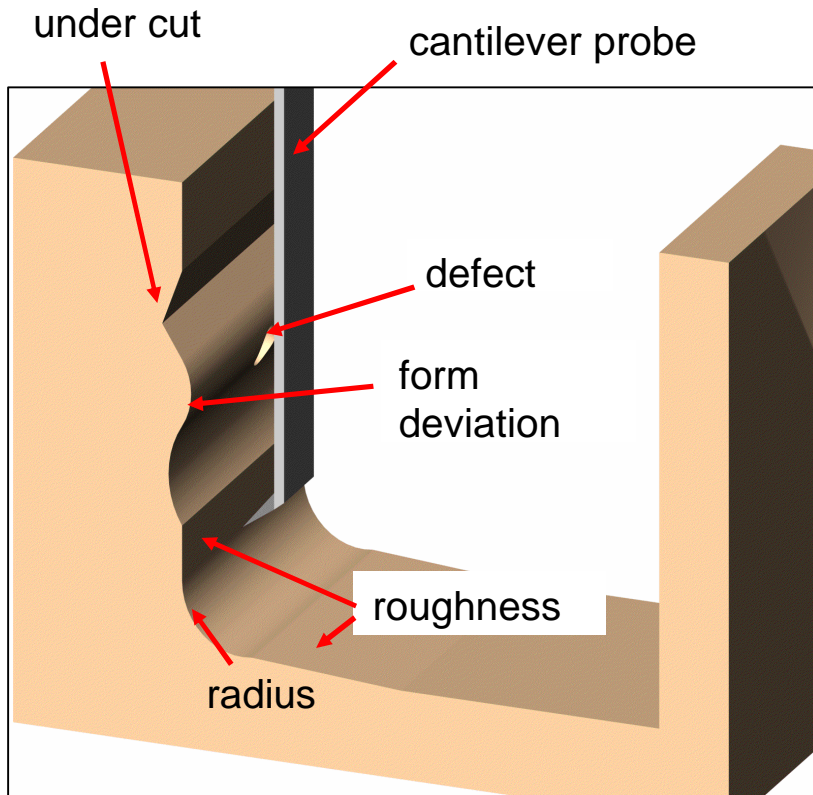


Kalibriernormale - Messmethoden

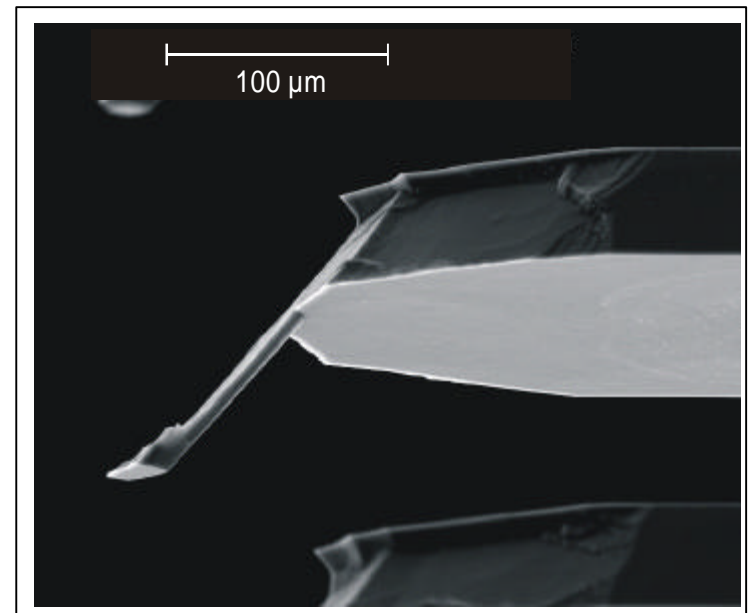


Messungen – Mikrostrukturen

Messung der Dimension von Mikrostrukturen: schmale Gräben und Löcher



Prototyp eines langen Cantilevers mit gewinkelter Spitze

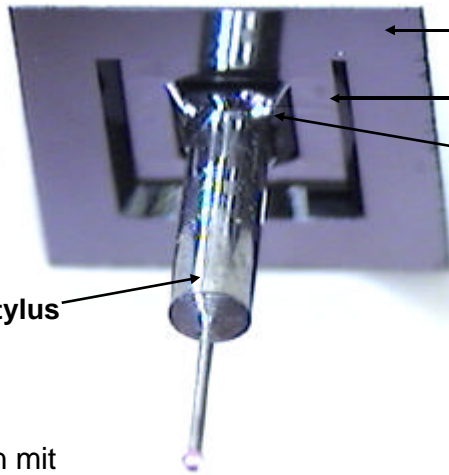
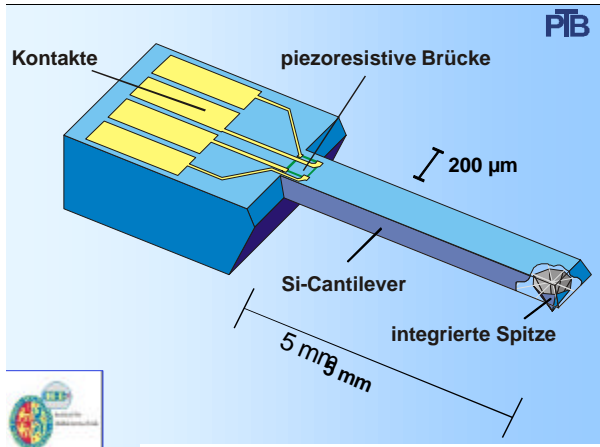


In Kooperation mit

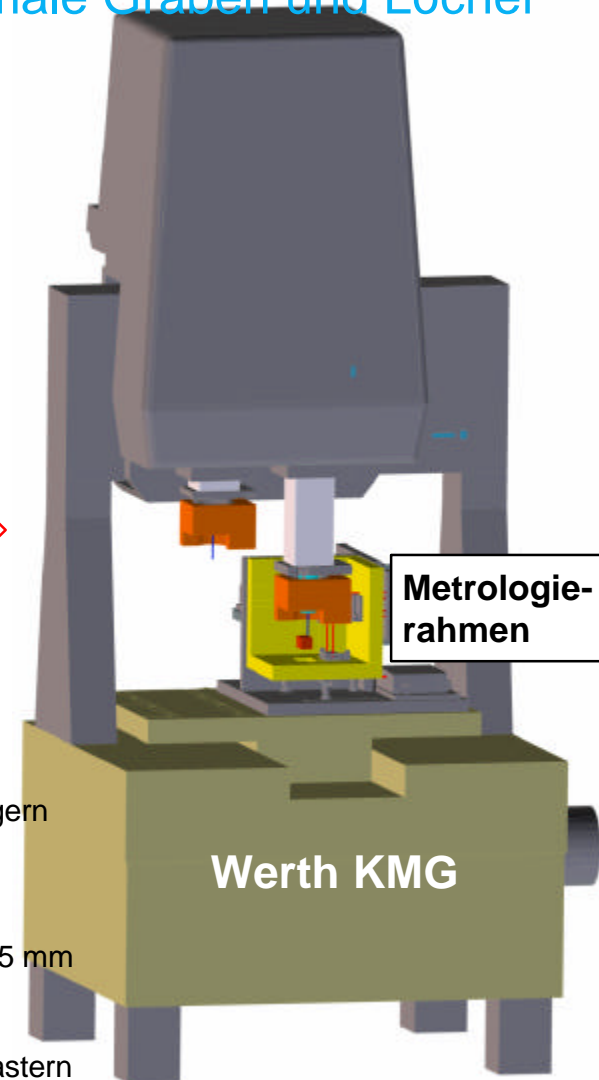
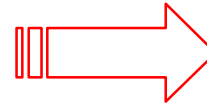
- IHT TU Braunschweig
- Mahr GmbH, Göttingen

Messungen – Mikrostrukturen

Messung der Dimension von Mikrostrukturen: schmale Gräben und Löcher



Si - wafer
 membrane spring
 boss

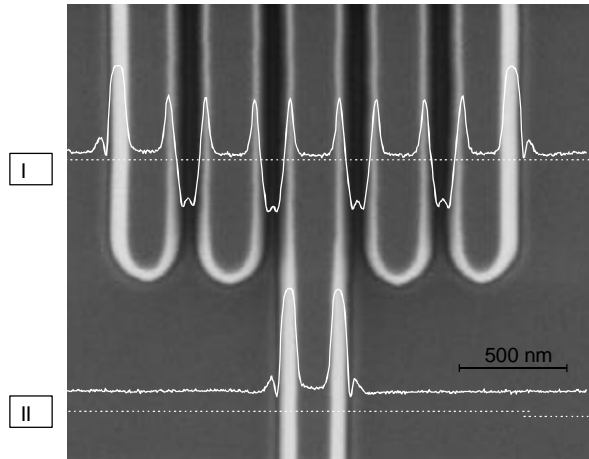


- kommerzielles Koordinatenmessgerät mit optimierten Luftlagern
- Metrologierahmen mit Laserinterferometern
- Messbereich: 25 mm x 40 mm x 25 mm
- Unsicherheit: < 0,1 μm
- 2 Pinolen mit unterschiedlichen Tastern

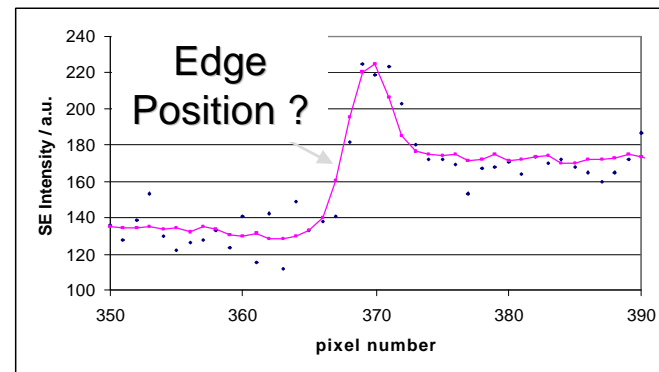
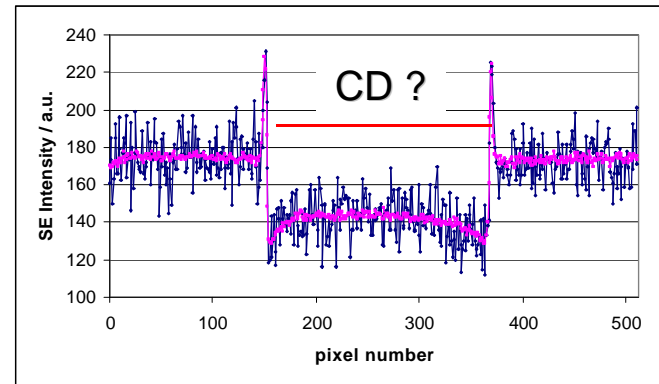
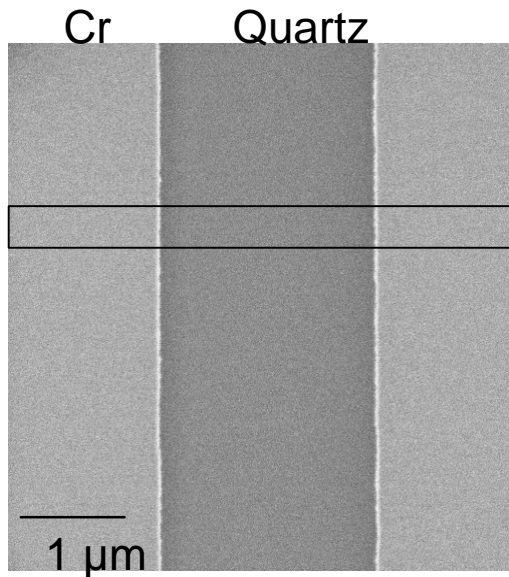
In Kooperation mit
IMT TU Braunschweig

ruby probing sphere
 ($f = 300 \mu\text{m}$)

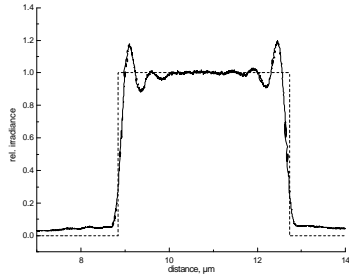
Messungen – Kalibrierung Linienbreite



Messung der Linienbreite (CD) von Kalibrierstrukturen auf Masken

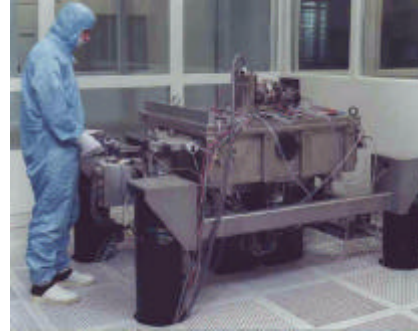


Messungen – Kalibrierung Linienbreite

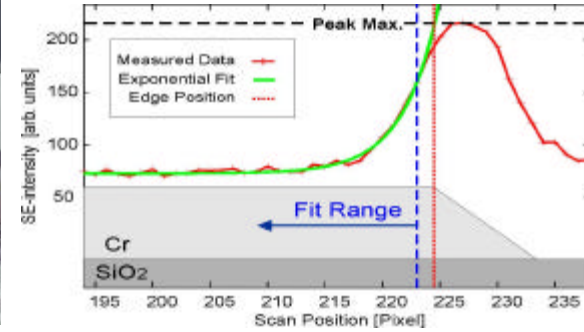


UV-Tool

UV-Signal



SEM-Tool



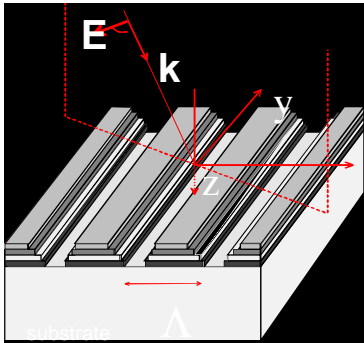
SEM-Signal

Model: RCWA, Microsim

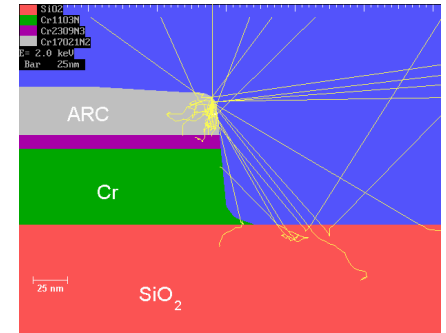
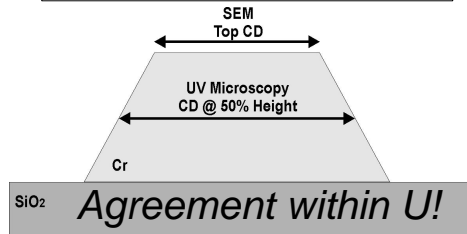
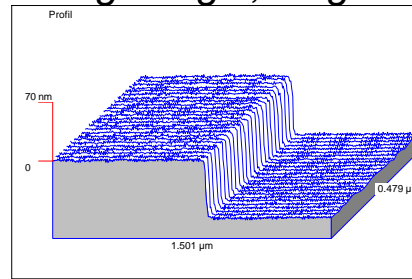
AFM:

Edge angle, height

Model: MonteCarlo, Mocasim

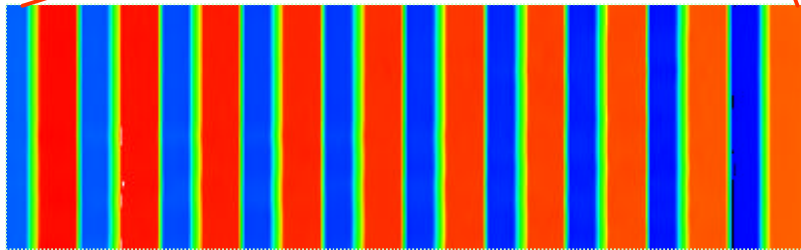
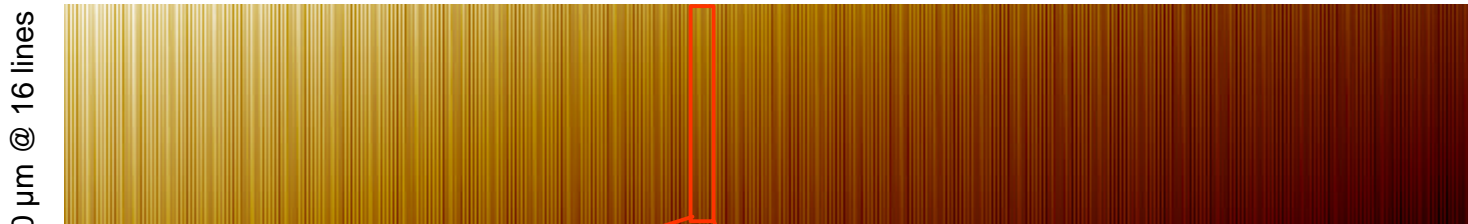


=> CD @ 50% height

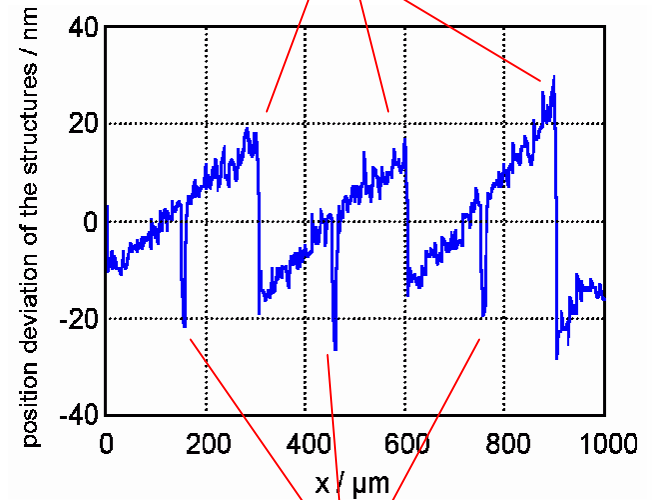


=> Top CD

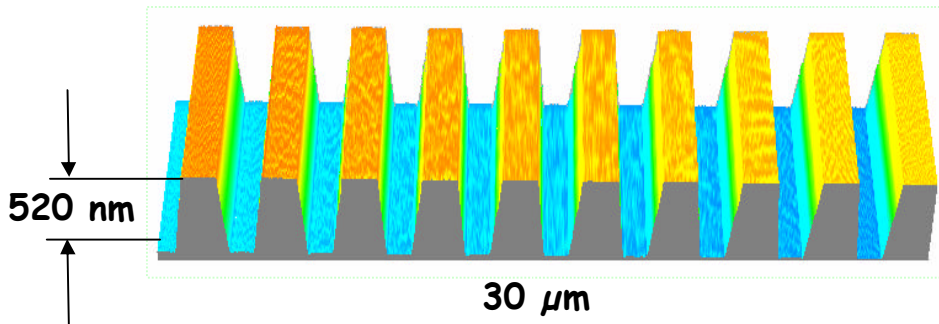
Messungen – Kalibrierung Gitterkonstante



Versatz des Gitters um
10 ... 20 nm nach $\sim 300 \mu\text{m}$



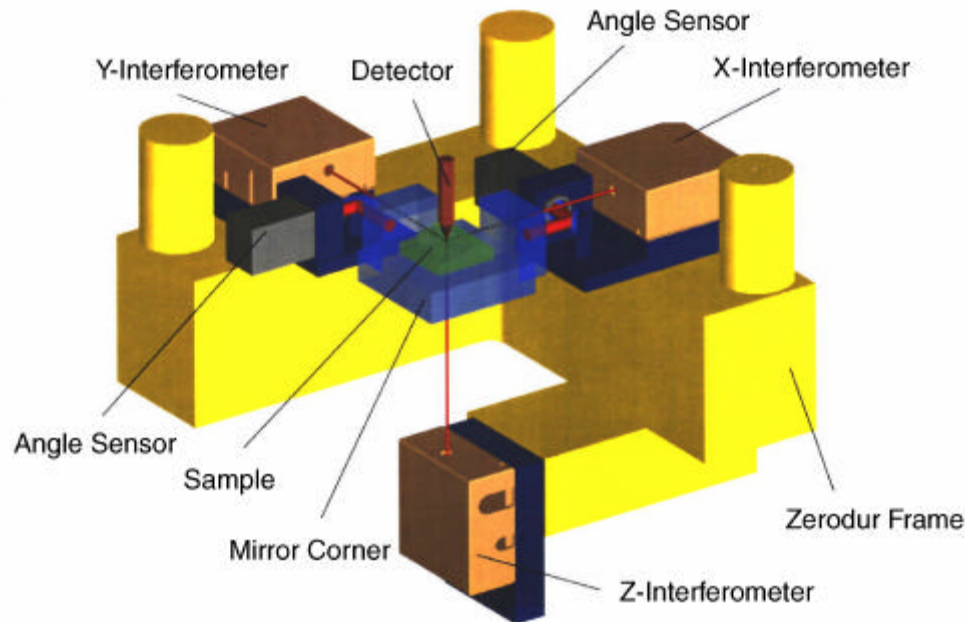
Versatz einer Einzellinie um 10 ... 20 nm



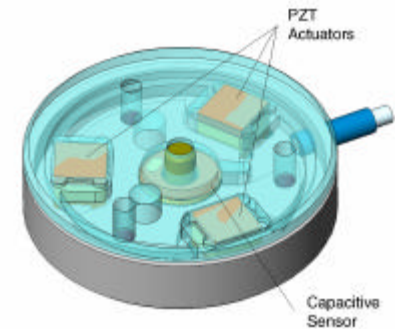
Messungen – Kalibrierung Gitterkonstante

Metrology *Large Range* SPM

Nanopositioniersystem (SIOS Messtechnik GmbH) Schnelle z-Positionierung (PI GMBH)



- Positioning range 25mm x 25mm x 5 mm
- Abbe error free measurement design
- Direct position measurement + control by three laser interferometers
- Two angle sensors for pitch and yaw angle measurement + control

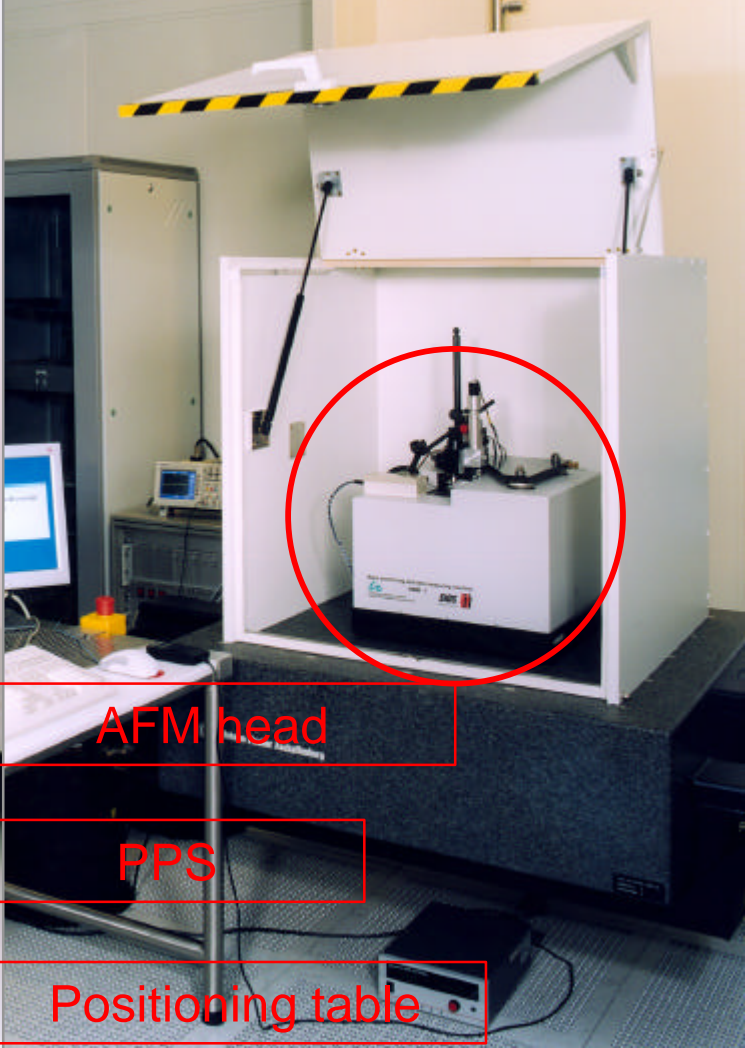
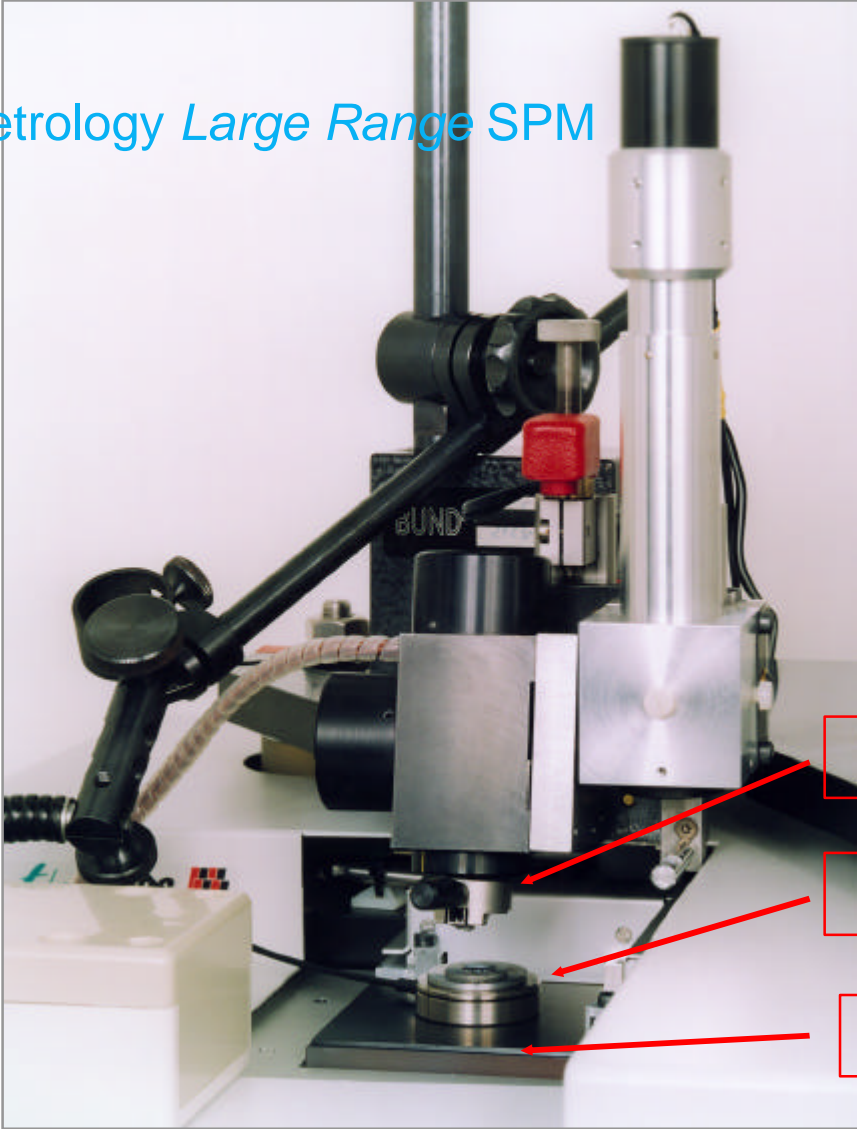


- Compact size (30 mm diameter, 8 mm height)
- extension range 2 μm
- Small mass ($m < 40 \text{ g}$)
- High mechanical resonance frequency ($f_r > 20 \text{ kHz}$)
- Capacitive sensor with sub-nanometer resolution in the center

+ AFM-Kopf

Messungen – Kalibrierung Gitterkonstante

Metrology Large Range SPM



AFM head

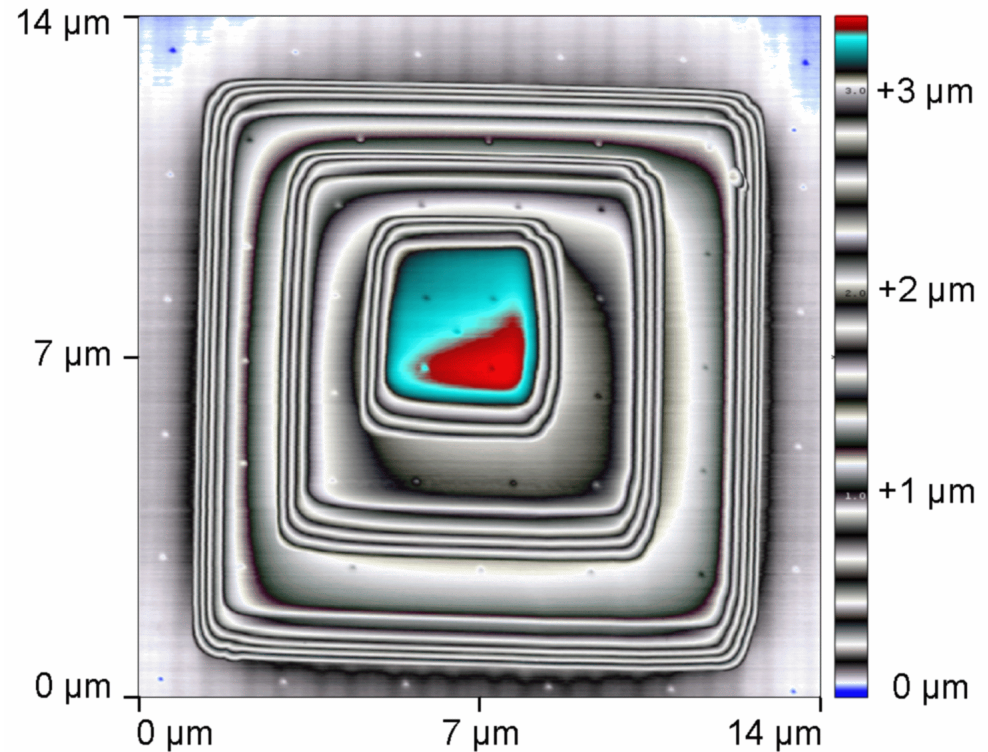
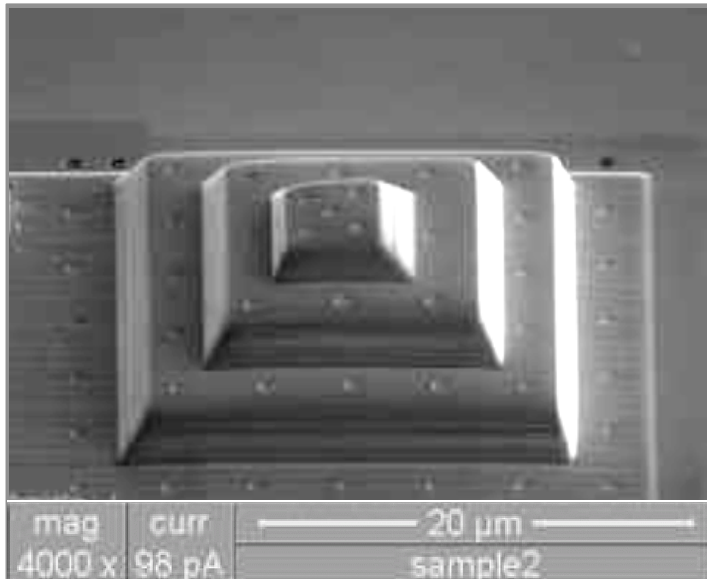
PPS

Positioning table

Messungen – Kalibrierung “3D-Normal“

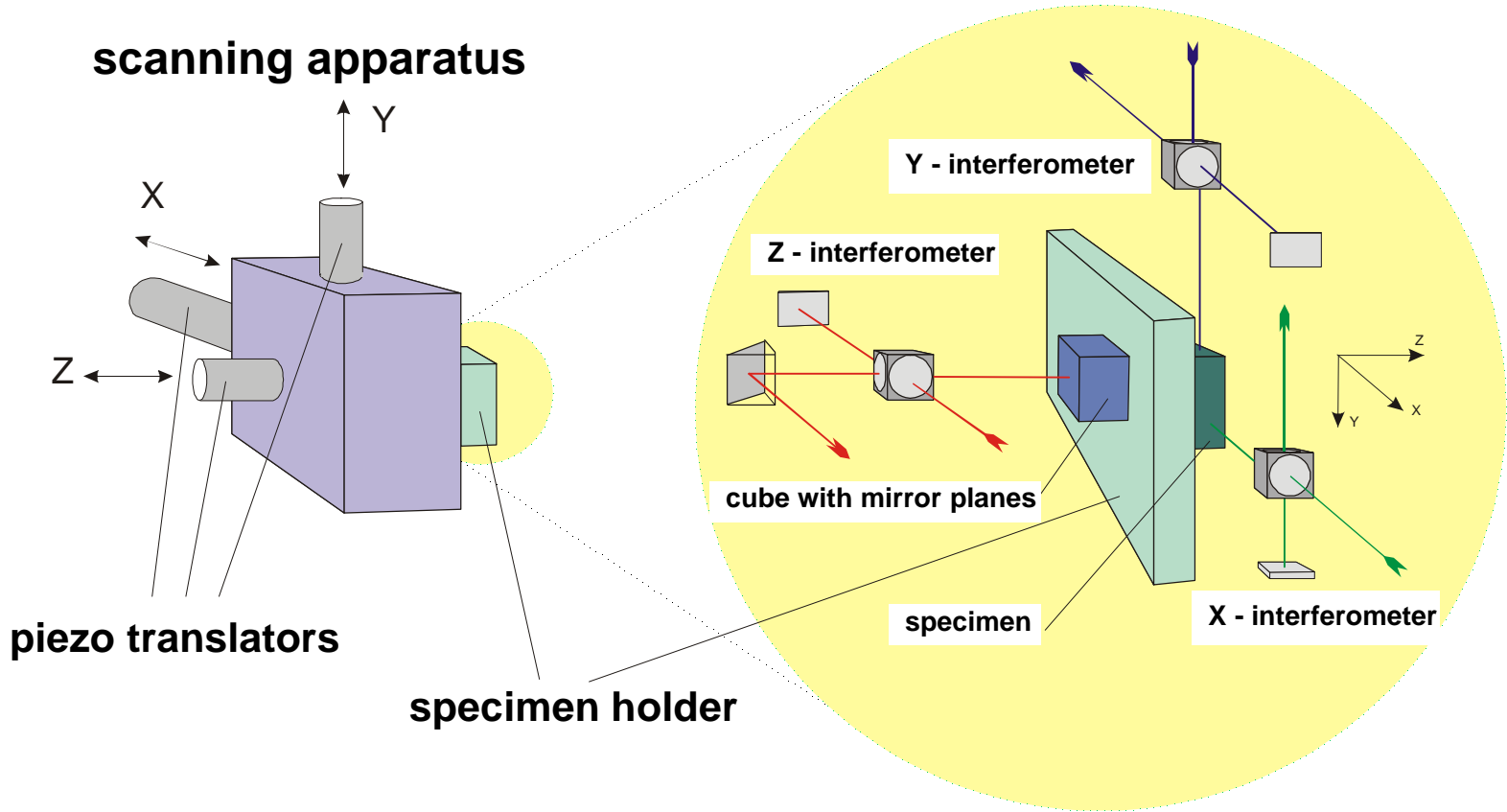
Kalibrierung der Lage von Nanomarkierungen auf 3D-Struktur

Pt Stufenpyramide mit
'Nanomarkierungen' für
die Kalibrierung von
REM- Stereogrammetrie
– kalibriert durch
Metrology SFM



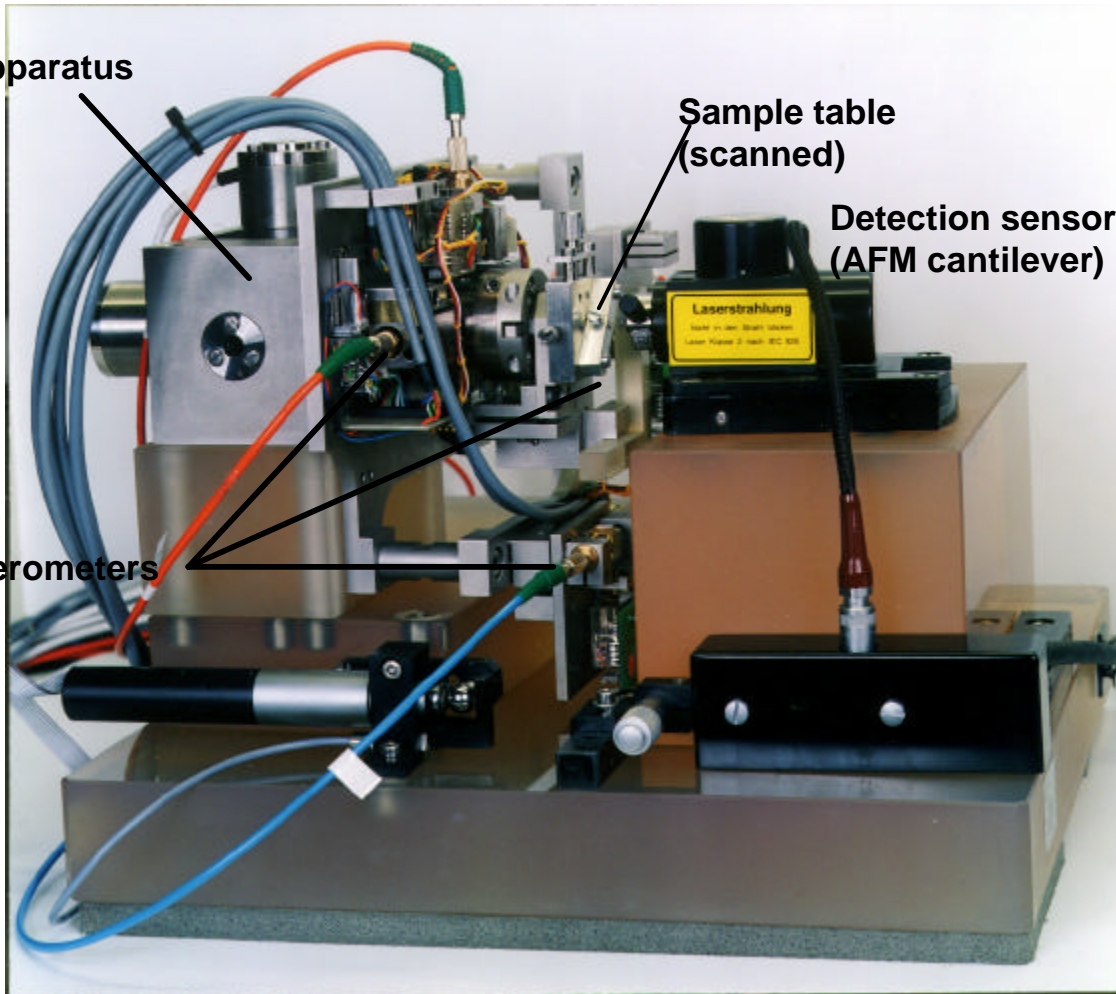
Messungen – Kalibrierung “3D-Normal“

Metrology Scanning Force Microscope (Veritekt B/C)



Messungen – Kalibrierung “3D-Normal“

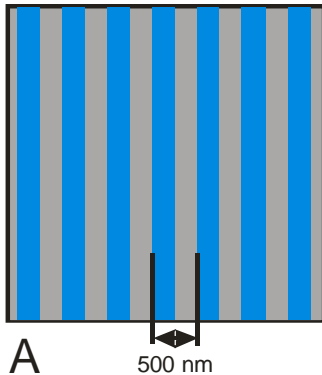
Metrology Scanning Force Microscope (Veritekt B/C)



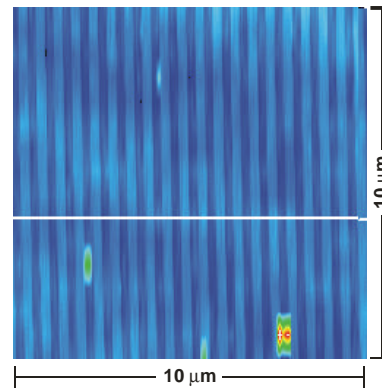
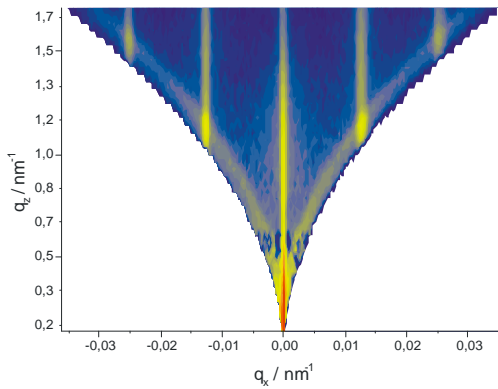
**3-axes
interferometry
for displacement
measurement**

**Measurement
range 75 μ m x
15 μ m x 15 μ m**

Untersuchung von regelmäßigen Strukturen *in* Grenzflächen



PTB Teststruktur:
In SiO₂ geätzte Strukturen
(10 nm tief)



Abbildungen der Oberfläche des Testsystems in die reziproke Ebene (DXRS, rechts) und in den realen Raum (LR-SPM, links).

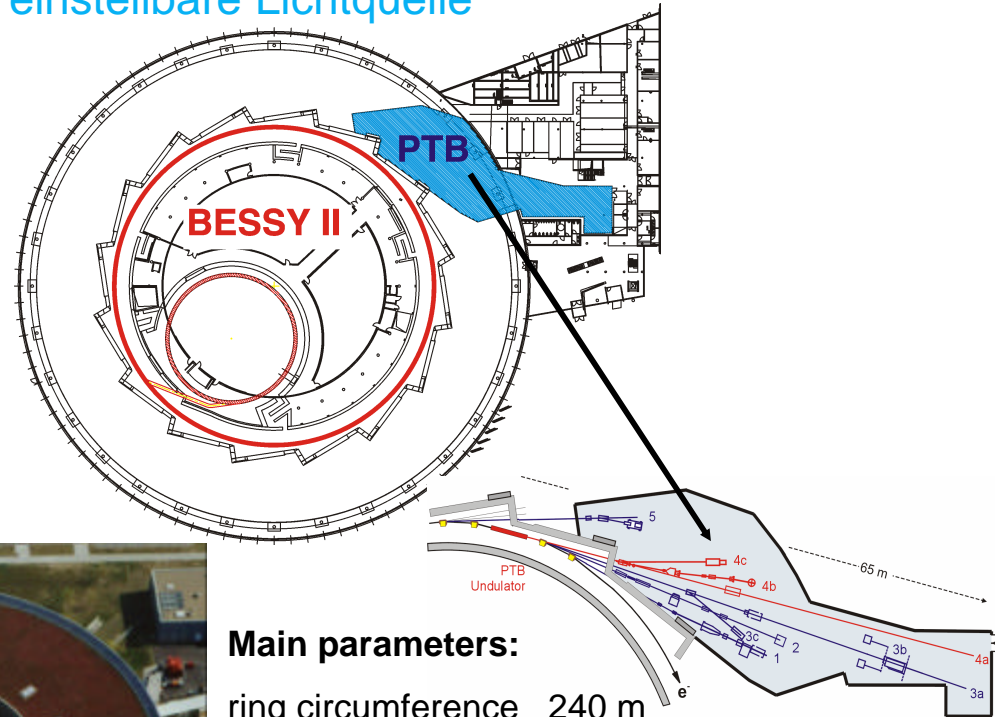
Messungen – lateral strukturierte Grenzflächen

Diffuse Röntgenstreuung /
Reflektometrie



Reflektometer
mit Drehanode

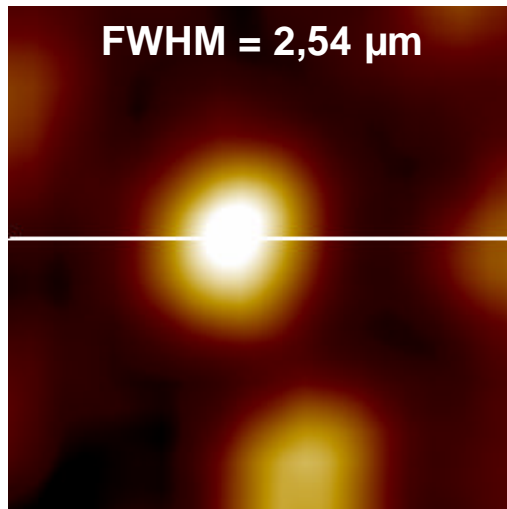
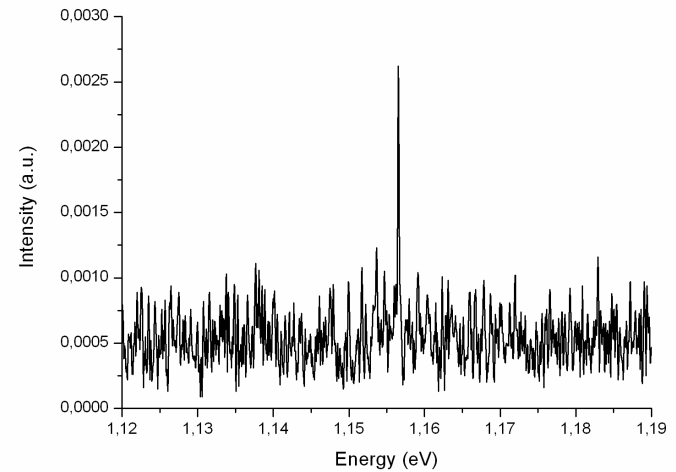
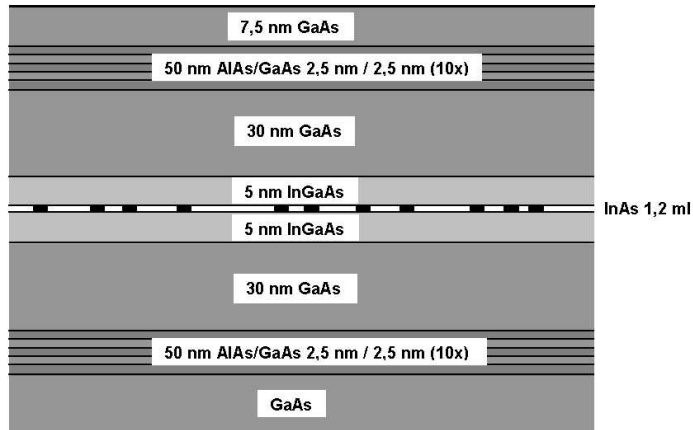
Elektronen Speicherring BESSY II (Berlin) als
einstellbare Lichtquelle



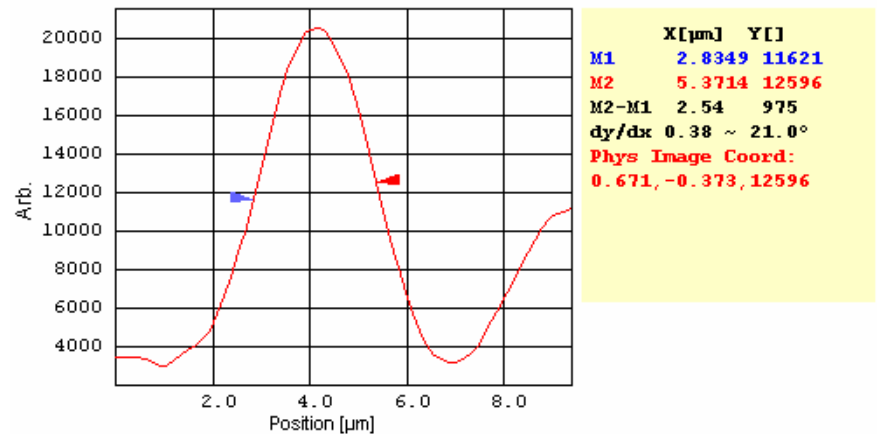
Main parameters:

ring circumference	240 m
electron energy	1.7 GeV
max. ring current	250 mA
beamlines	36

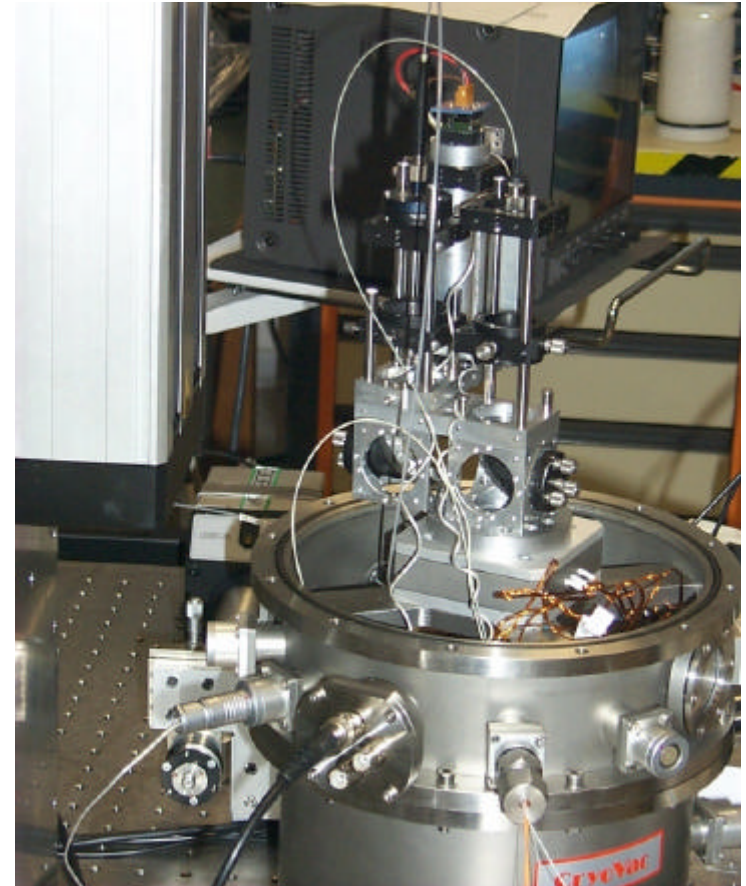
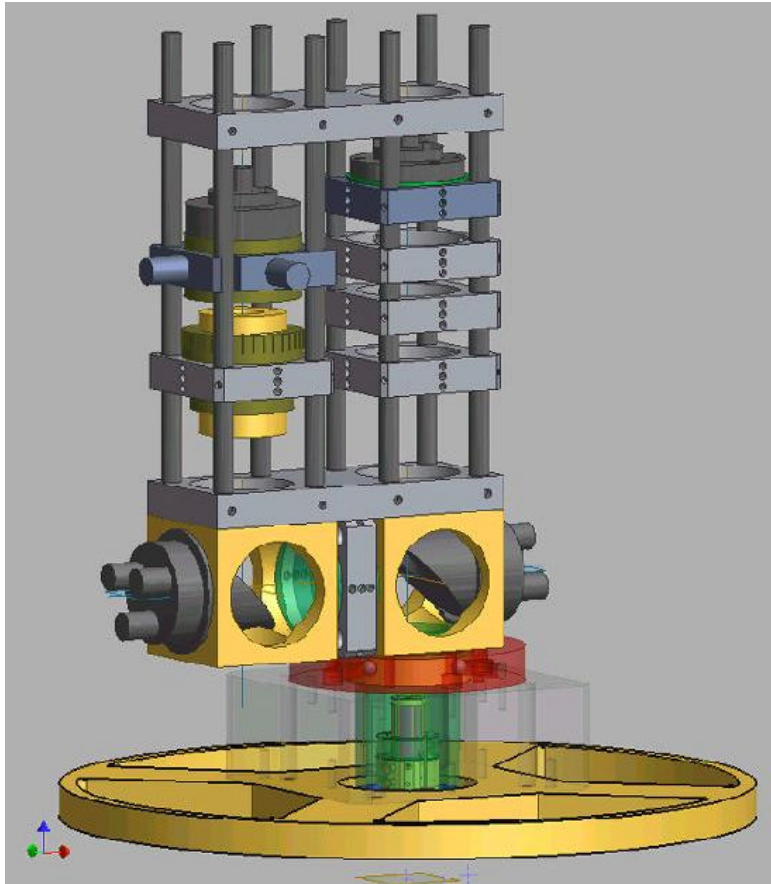
Messungen – Quantum dots



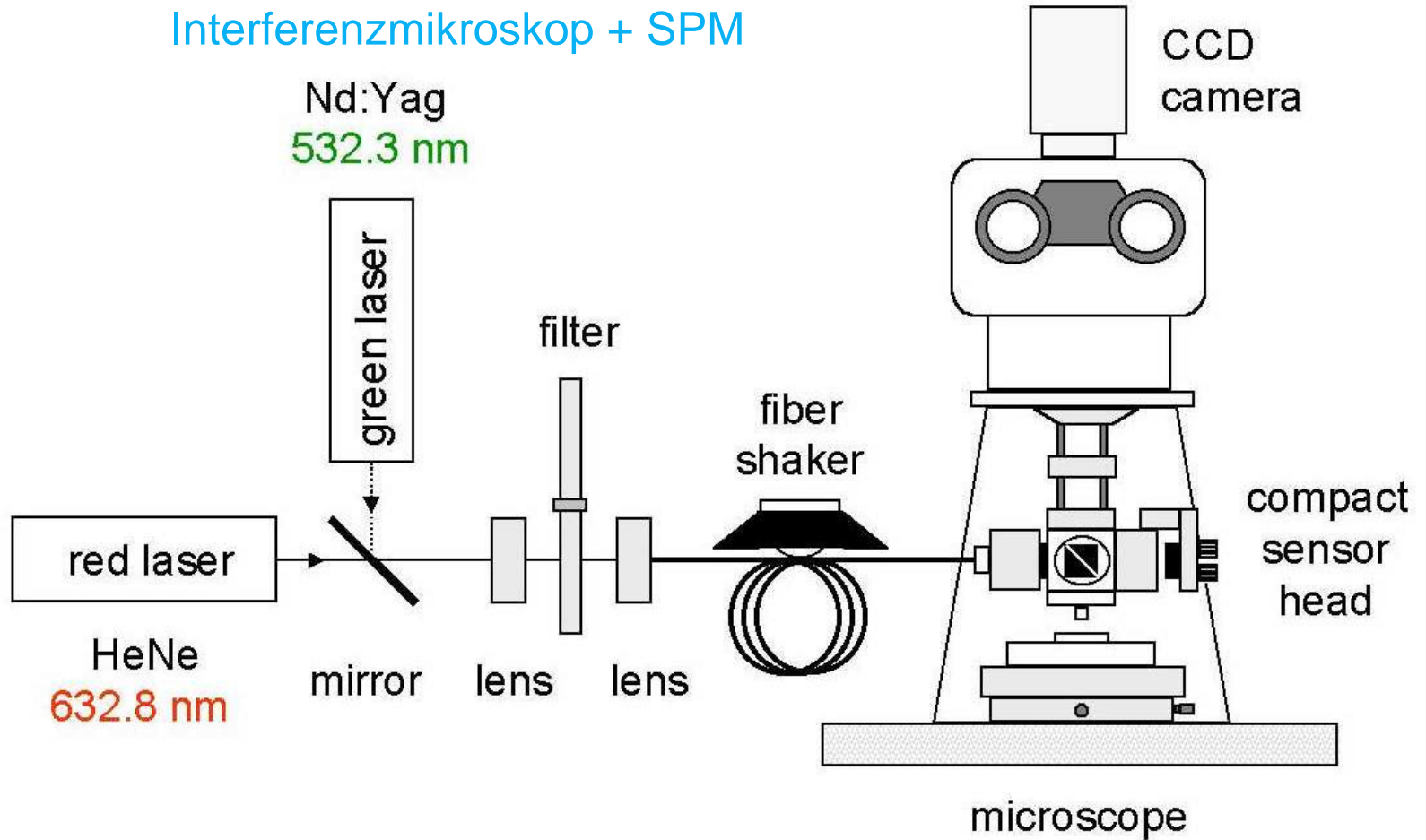
Photolumineszenz-Spektrum eines single quantum dot



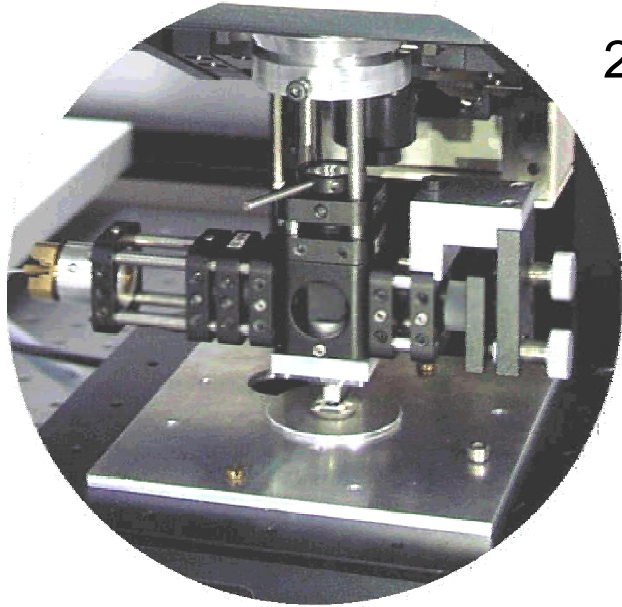
Konfokale Spektroskopie bei niedrigen Temperaturen



Interferenzmikroskop + SPM



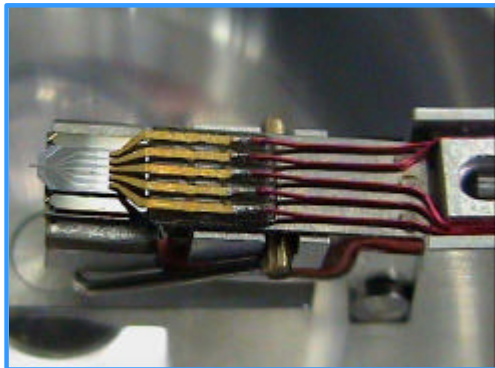
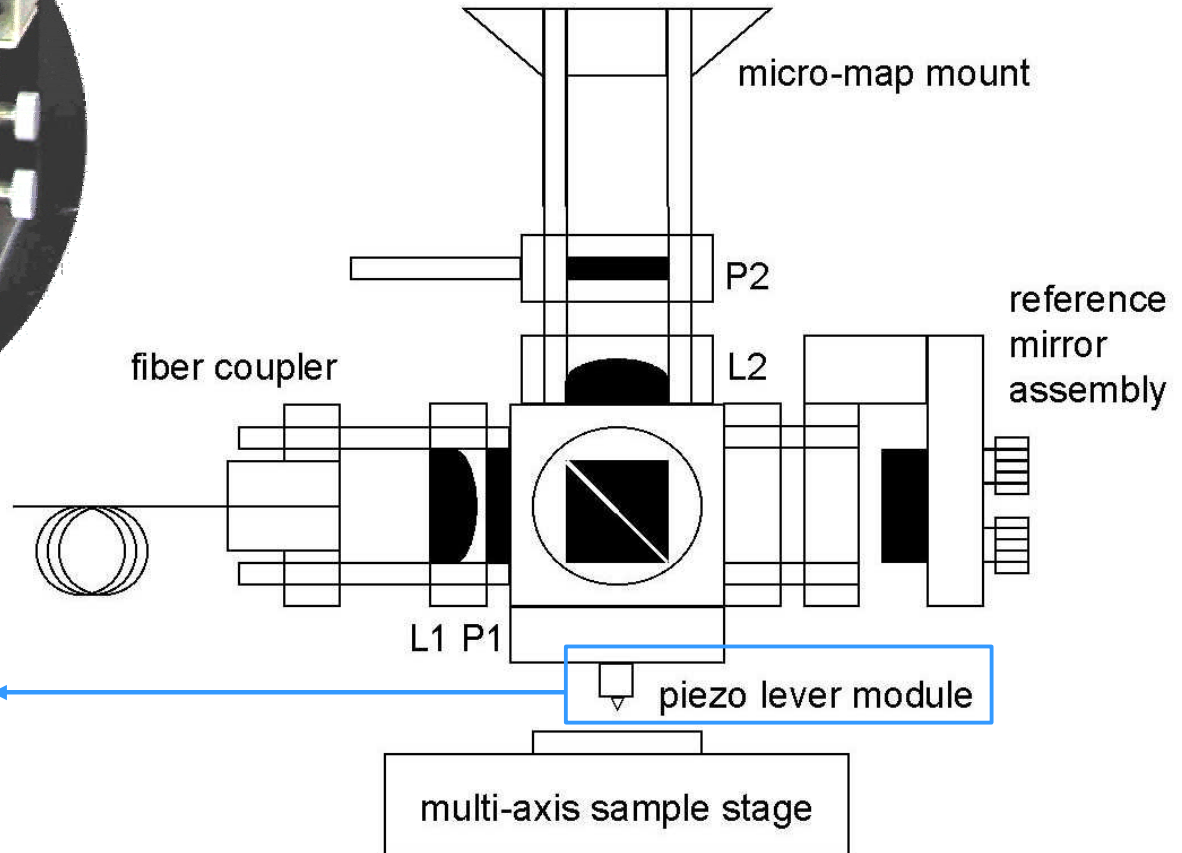
Messungen – kombiniert optisch / SFMikroskopisch



25 mm

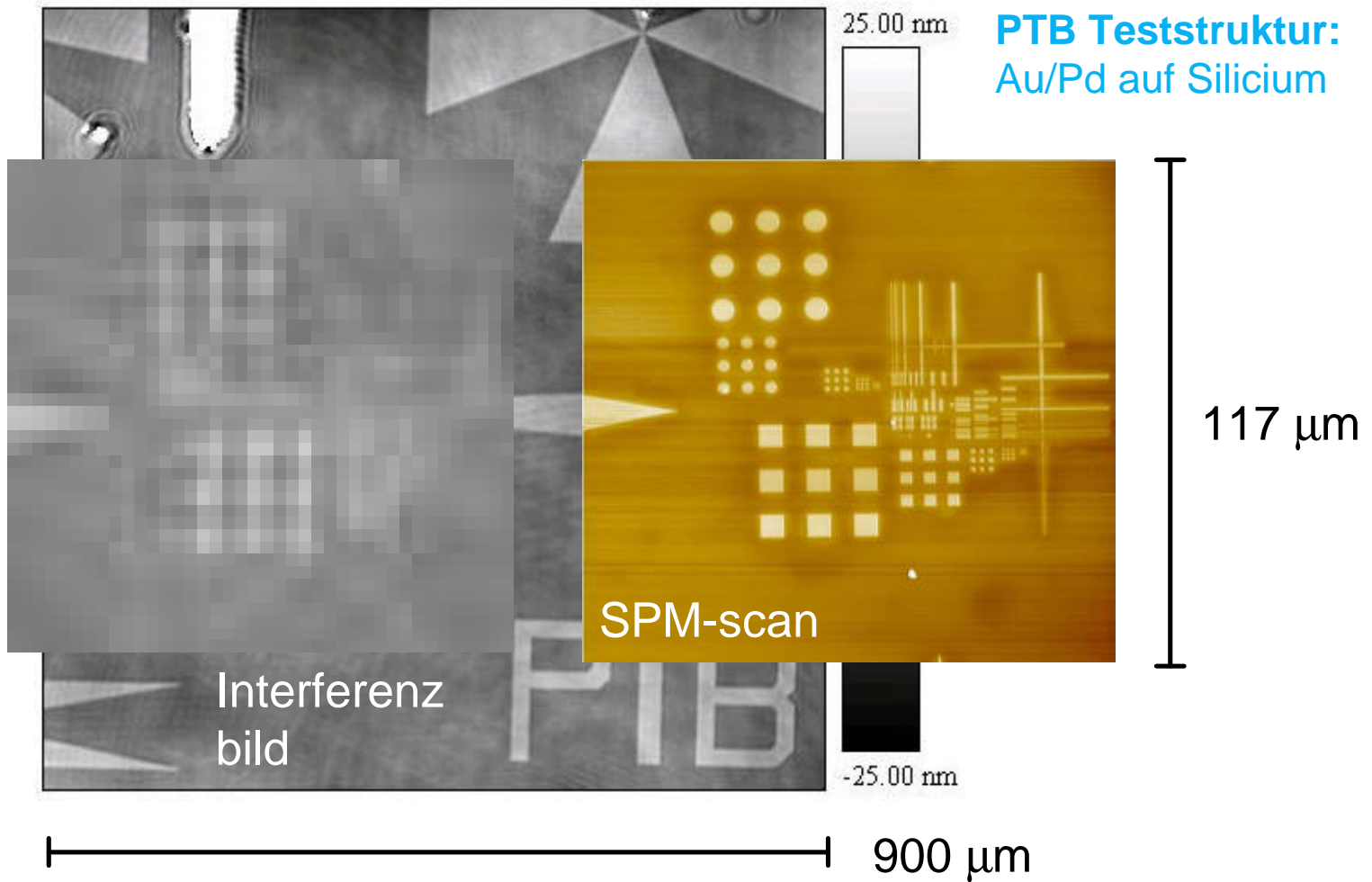


Interferenzmikroskop + SPM



Messungen – *kombiniert optisch / SFMikroskopisch*

Interferenzmikroskop + SPM



Schlussfolgerungen

Gegenwärtiger Stand

- *Im Prinzip* werden die Messaufgaben von vorhandenen Messmethoden abgedeckt
- Laterale Auflösungen ständige Herausforderung
- Methoden müssen häufig kombiniert werden
- Vergleichbarkeit nur eingeschränkt vorhanden
- Kalibriernormale zur Sicherung der Vergleichbarkeit (und der Rückführung) decken nicht die erforderlichen Messbereiche und Messaufgaben ab.



- Verlässliche Modelle zur Beschreibung der WWen
- Normale insbes. für Rauheit, Form und 'anwendungsnahen' Einsatz
- Normen und Richtlinien

... mit Beiträgen von:

H. Bosse

U. Brand

G. Dai

H.-U. Danzebrink

L. Doering

T. Dziomba

L. Koenders

Vielen Dank!