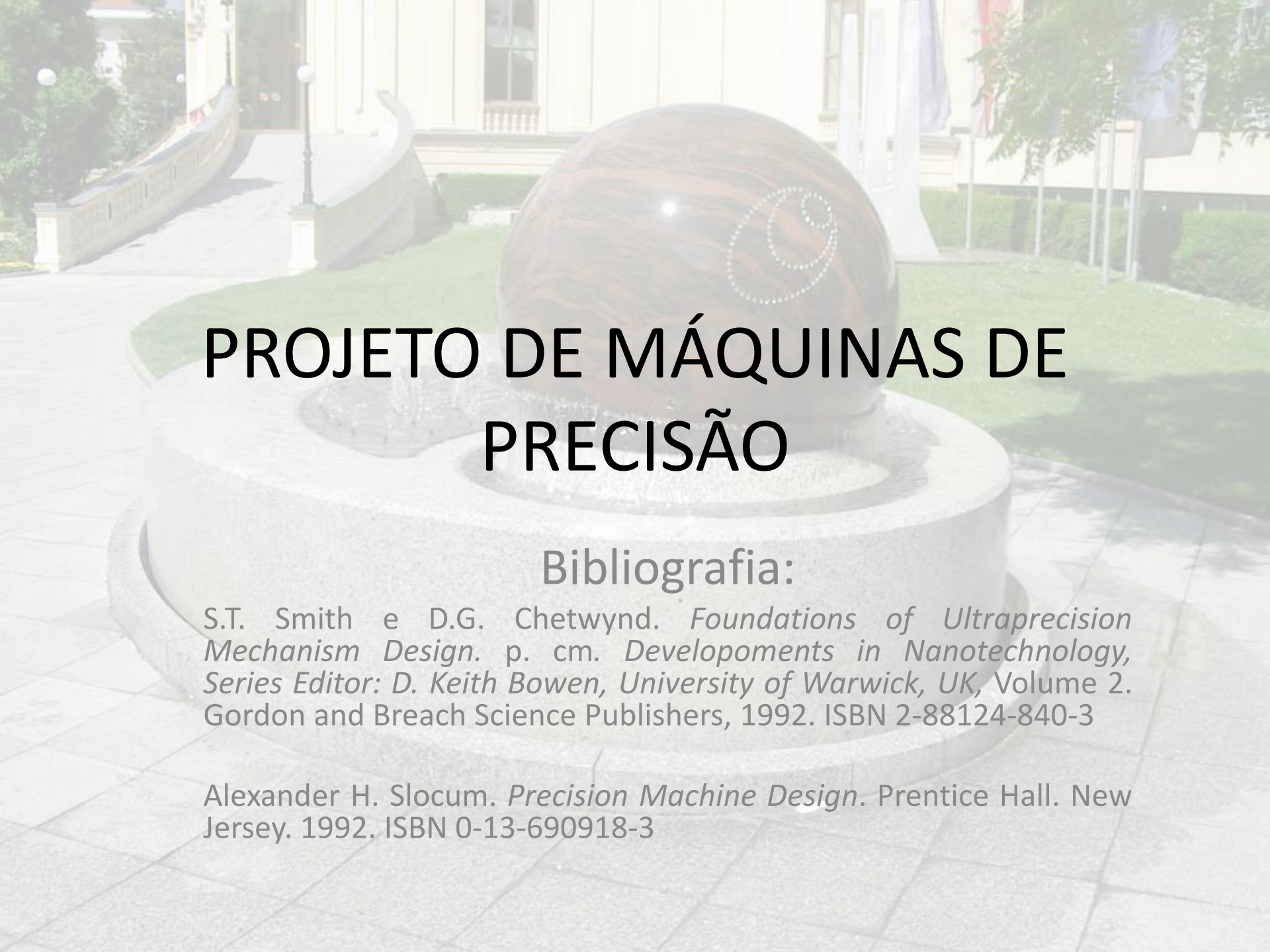




PROJETO DE MÁQUINAS DE PRECISÃO

Bibliografia:

S.T. Smith e D.G. Chetwynd. *Foundations of Ultraprecision Mechanism Design*. p. cm. *Developoments in Nanotechnology, Series Editor: D. Keith Bowen, University of Warwick, UK, Volume 2*. Gordon and Breach Science Publishers, 1992. ISBN 2-88124-840-3

Alexander H. Slocum. *Precision Machine Design*. Prentice Hall. New Jersey. 1992. ISBN 0-13-690918-3

SUMÁRIO

Parte I FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA DE PRECISÃO

1 A escala da ultra-precisão

2 Conceitos gerais

2.1 Termos de instrumentação

2.2 Erros e Combinação de erros

3 Conceitos fundamentais em projeto de precisão

3.1 Terminologia

3.2 Princípios e “patterns”

3.1.1 Apoios cinemáticos

3.1.2 Drives cinemáticos

3.1.3 Montagem semi-cinemática ou projeto elástico

3.1.4 Laço Estrutural e Estrutura Metrológica

3.1.5 Princípios de alinhamento (erros de cosseno e erros de Abbe)

3.1.6 “Nulling”, Compensação e Compensação de erros sistemáticos

3.1.7 Simetria

3.1.8 Isolamento

3.1.9 “Error Budgeting”

3.1.10 Resolução e Repetibilidade

4 Materiais para projeto de máquinas de precisão

SUMÁRIO

Parte II MECANISMOS DE ULTRA-PRECISÃO

1 Projeto de “flexures” (guias de flexão)

1.1 Monolítico

1.2 Molas planas

2 Acoplamentos cinemáticos

3 “Drives” de precisão

SUMÁRIO

Parte III GUIAS PARA MÁQUINAS DE PRECISÃO

1 Guias hidrostáticas

2 Guias aerostáticas

3 Guias de lubrificante sólido

4 Guias com lubrificação limite

5 Guias com lubrificação polimérica



PROJETO DE MÁQUINAS DE PRECISÃO

Parte I FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA DE PRECISÃO



INTRODUÇÃO À ENGENHARIA

Parte I **FUNDAMENTOS DA ENG. DE PREC.**

1 A escala da engenharia de precisão

Parte I FUNDAMENTOS

1 A escala da ultra-precisão

- 1.1 Introdução
- 1.2 Aplicações
- 1.3 Metrologia



1.1 INTRODUÇÃO

The Scale of Things – Nanometers and More

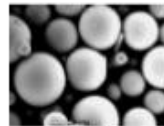
Things Natural



Dust mite
200 μm



Ant
~ 5 mm



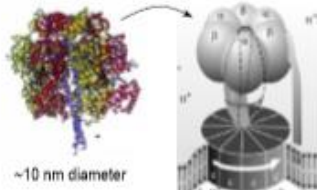
Fly ash
~ 10-20 μm



Human hair
~ 60-120 μm wide

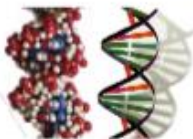


Red blood cells
(~7-8 μm)

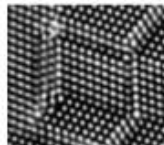


~10 nm diameter

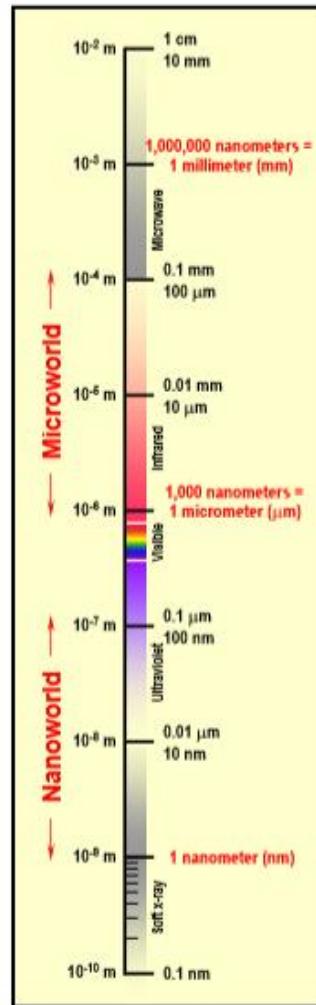
ATP synthase



DNA
~2-1/2 nm diameter



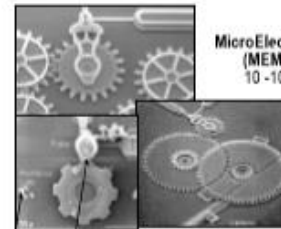
Atoms of silicon
spacing ~tenths of nm



Things Manmade



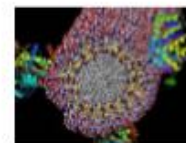
Head of a pin
1-2 mm



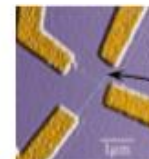
MicroElectroMechanical (MEMS) devices
10 - 100 μm wide

Pollen grain
Red blood cells

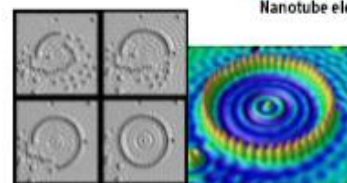
Zone plate x-ray "lens"
Outer ring spacing ~35 nm



Self-assembled,
Nature-inspired structure
Many 10's of nm

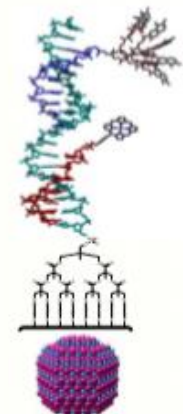


Nanotube electrode

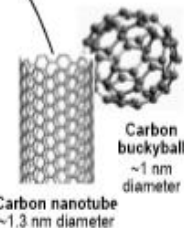


Quantum corral of 48 iron atoms on copper surface
positioned one at a time with an STM tip
Corral diameter 14 nm

The Challenge



Fabricate and combine
nanoscale building
blocks to make useful
devices, e.g., a
photosynthetic reaction
center with integral
semiconductor storage.



Carbon
buckyball
~1 nm
diameter

Carbon nanotube
~1.3 nm diameter

Exemplo de casa

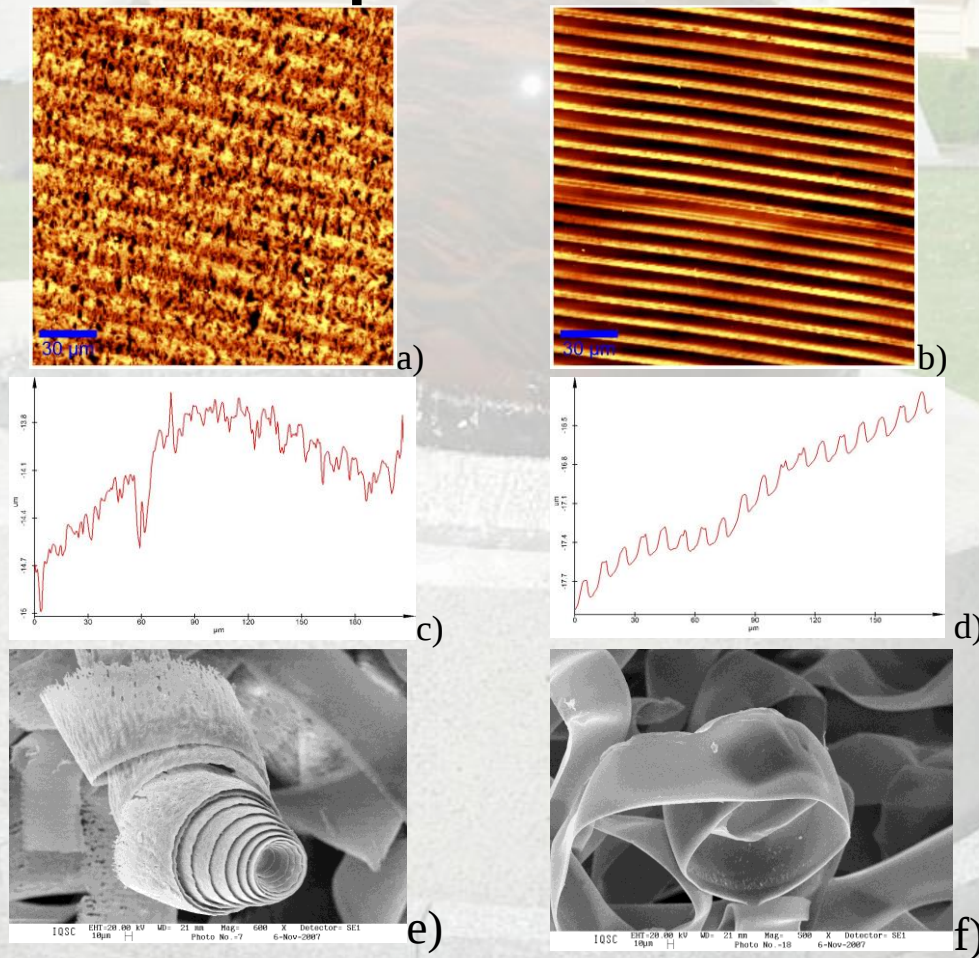
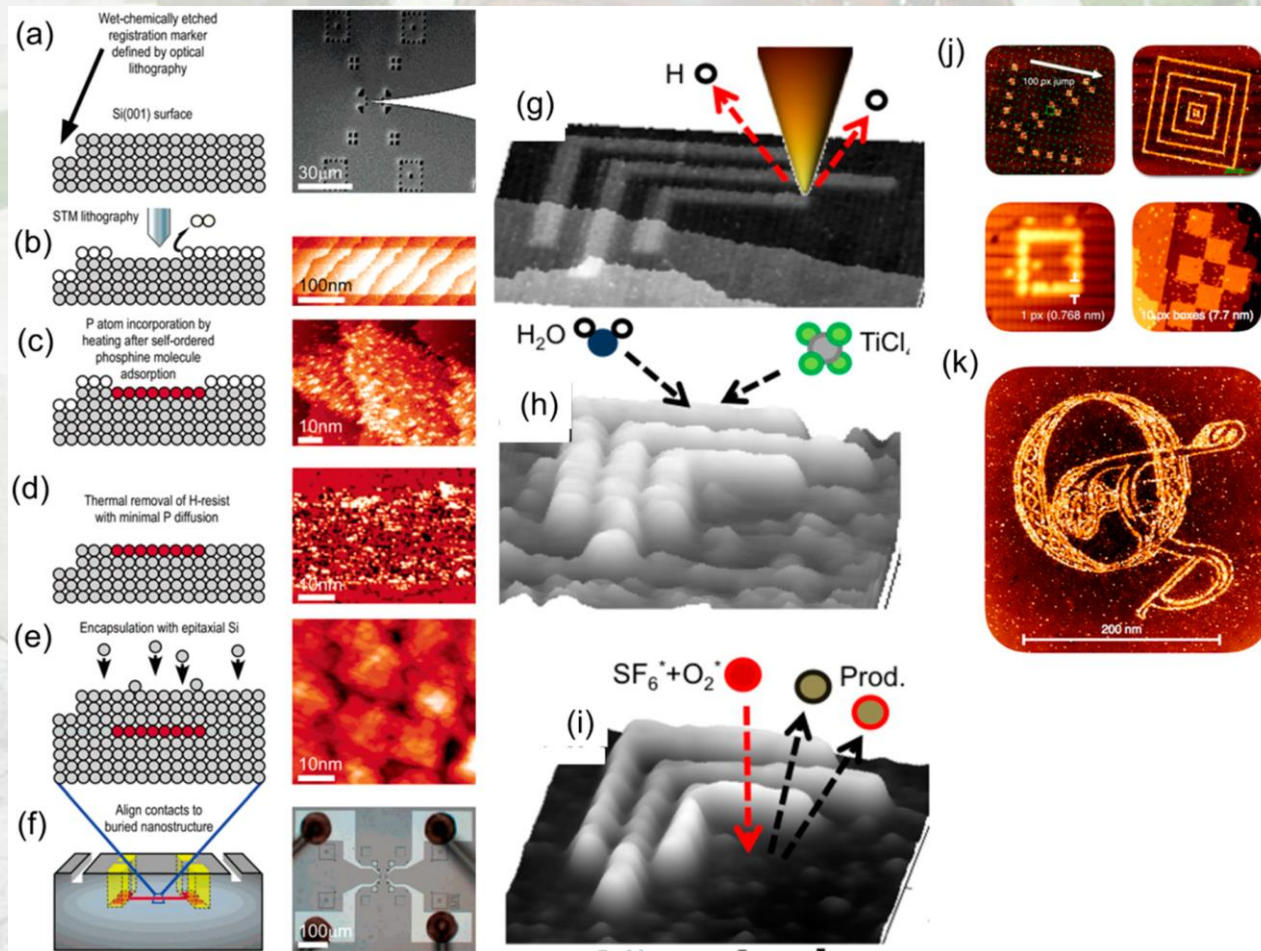
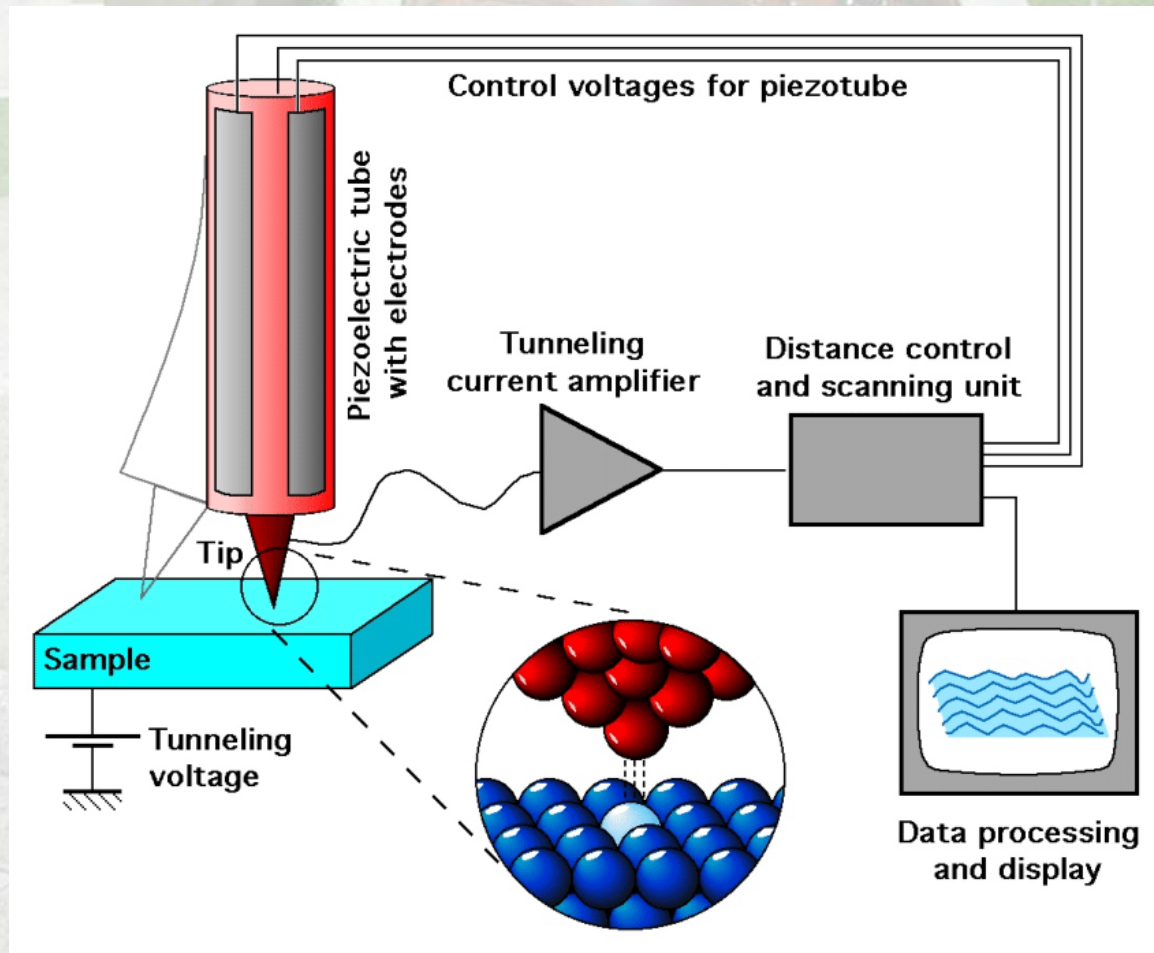


Figure 1: Images made by AFM of the surfaces generated under the rough cutting condition; a) 0.02% CNT; b) %0.4 CNT. Cross section profile of the machined surfaces cut under roughening operation; c) 0.02% CNT; d) %0.4 CNT, e) SEM image of the chips 0.02% CNT; f) SEM image of the chips %0.4 CNT.

Fabricação através de STM



STM – esquema



1.1 INTRODUÇÃO

"Precisão e Ultraprecisão não são definições fixas; Evoluem e, portanto, mudam com o progresso e tempo. Enquanto em 1940 uma mandriladora com repetibilidade de 1 micrometro era julgada como sendo representativa da mais alta precisão, hoje, meio século depois, a exatidão dimensional aumentou de uma ordem de magnitude."

1.1 INTRODUÇÃO

O QUE É PRECISÃO,
ALTA PRECISÃO E ULTRA-PRECISÃO

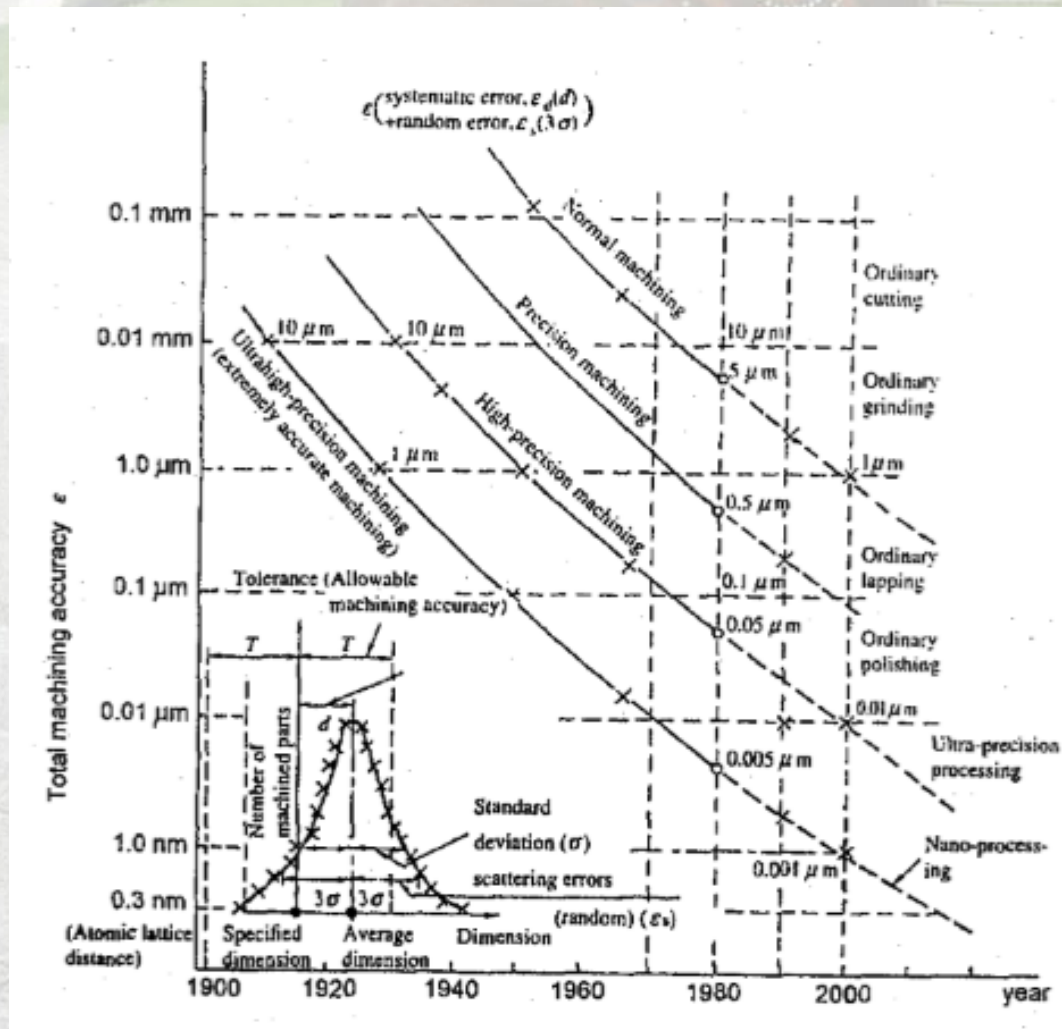
?

1.1 INTRODUÇÃO

ULTRAPRECISÃO INCLUI DIMENSÕES DA ORDEM DE $1\ \mu\text{m}$
E TOLERÂNCIAS DA ORDEM DE 1 NANÔMETRO

Tanigushi, 1974

Tendências em usinagem de precisão



1.2 APLICAÇÕES

VISIR - VLT Imager and Spectrometer for mid Infrared

2 VIS / IR telescopes (λ : 350nm – 30 μ m)

sites:

Hawaii (Mauna Kea) and
Chile (Cerro Pachón)

primary mirror:

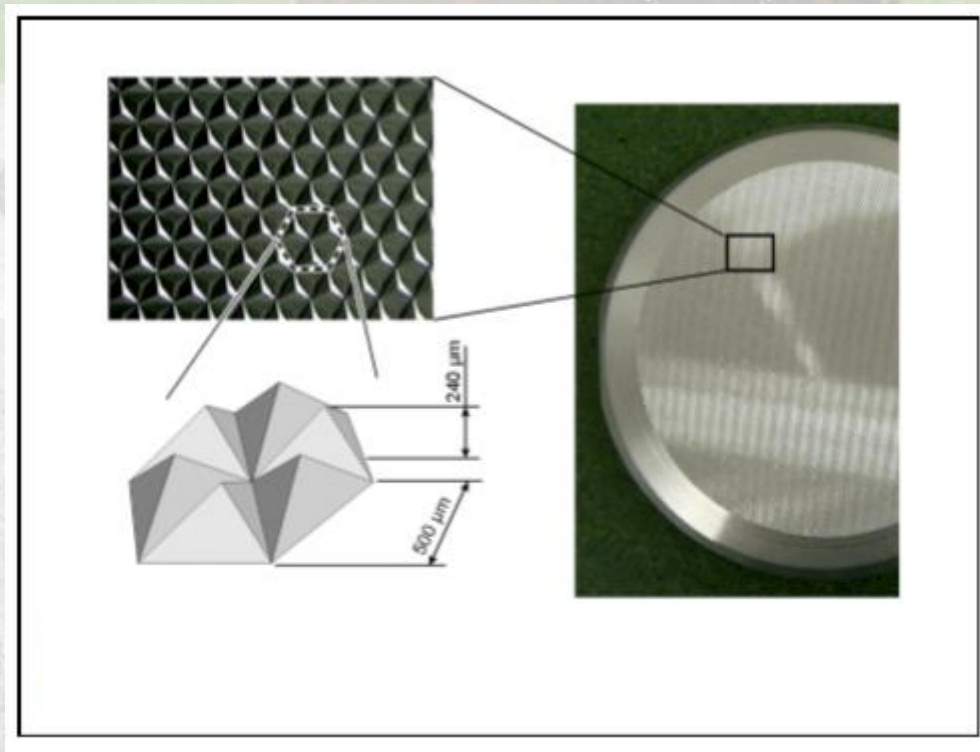
8.1m diameter each

science goals:

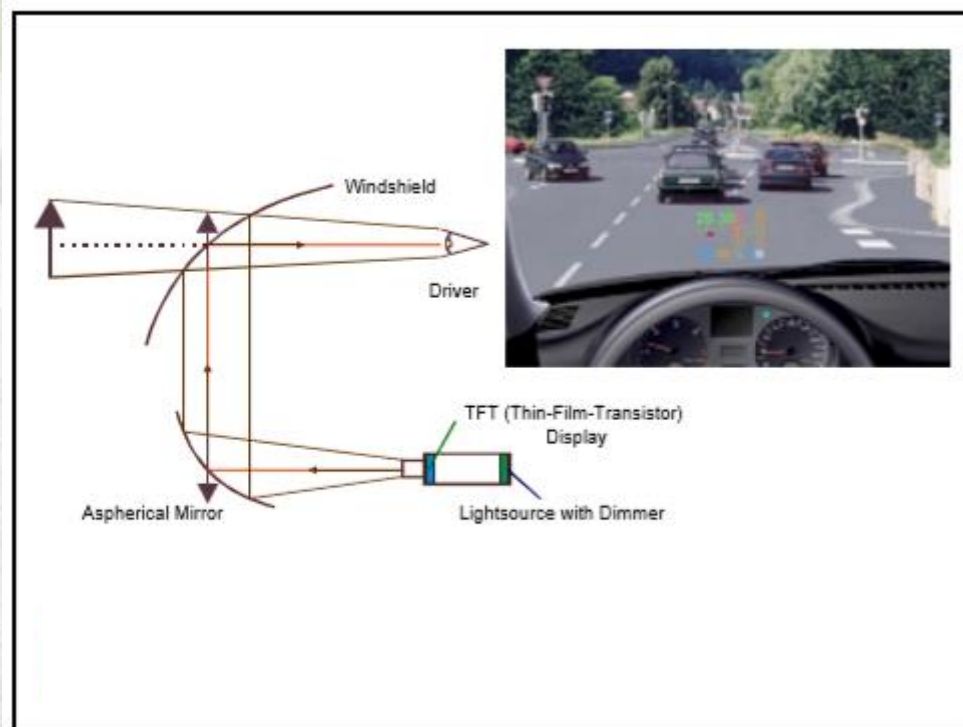
- evolution of the universe
- extra-solar planets
- quasars
- gravitational lenses



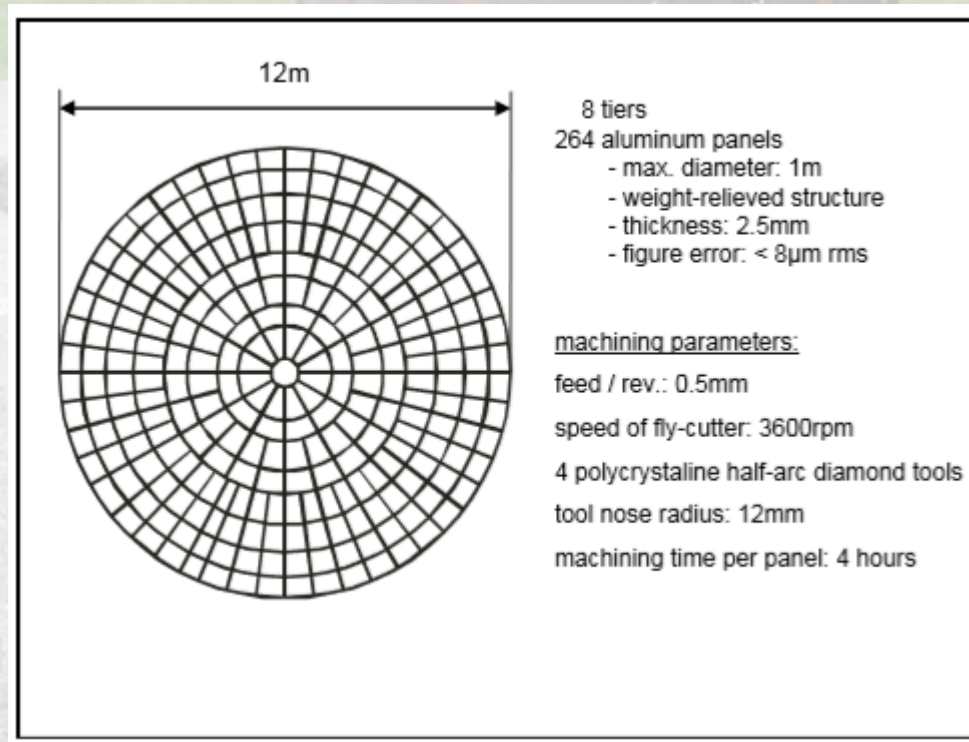
Molde de alumínio para superfície refletiva com microtetraedros



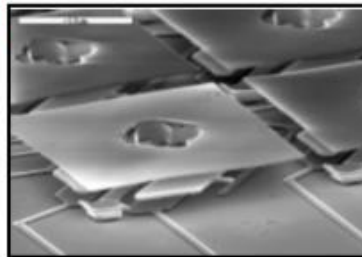
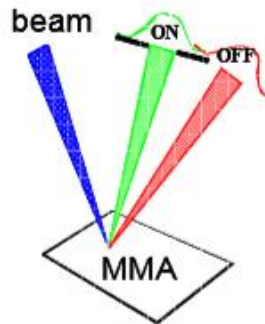
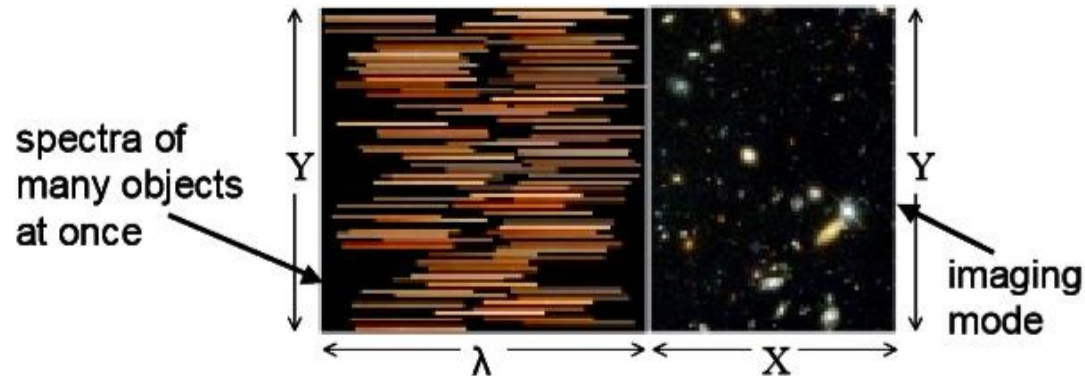
Head-up Display Siemens VDO Automotive



Espelho do telescópio ALMA



Espectrografia Multi-Objeto (MEMS)



micro-mirror array (MMA)

- number of mirrors: 500,000
- mirror size: $17\mu\text{m} \times 17\mu\text{m}$
- tilt angle: $\pm 10^\circ$

Monolithic pupil mirror array for the Near Infrared Integral Field Spectrograph of the Gemini South Observatory



29 toroidal facets

- size: 2mm x 4.5mm
- fly-cut radius: 52.17 mm
- swing radius: 53.17 mm
- envelope radius: 448 mm

Laboratory for Precision Machining
University of Bremen, Germany

Torneamento com ferramenta de diamante (SPDT) com *Fast Tool Servo* (FTS)

Bi-conic mirror for the Infrared Multi-Object Spectrograph of the Next Generation Space Telescope

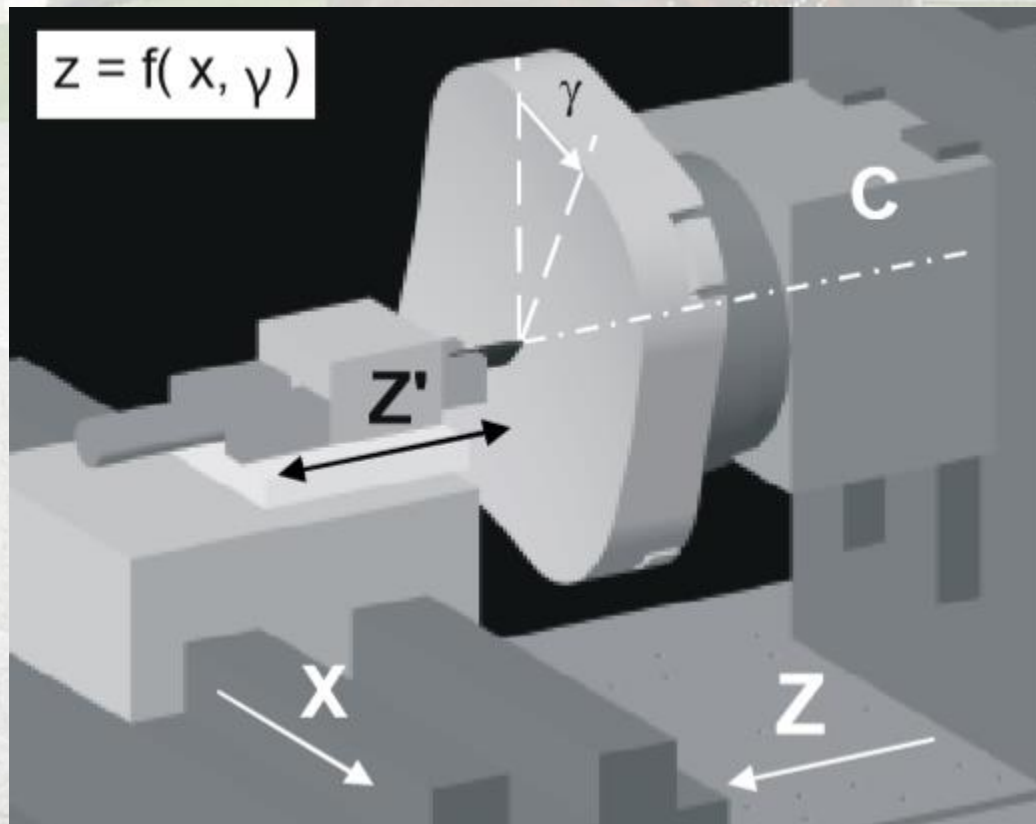


Fast Tool Servo:

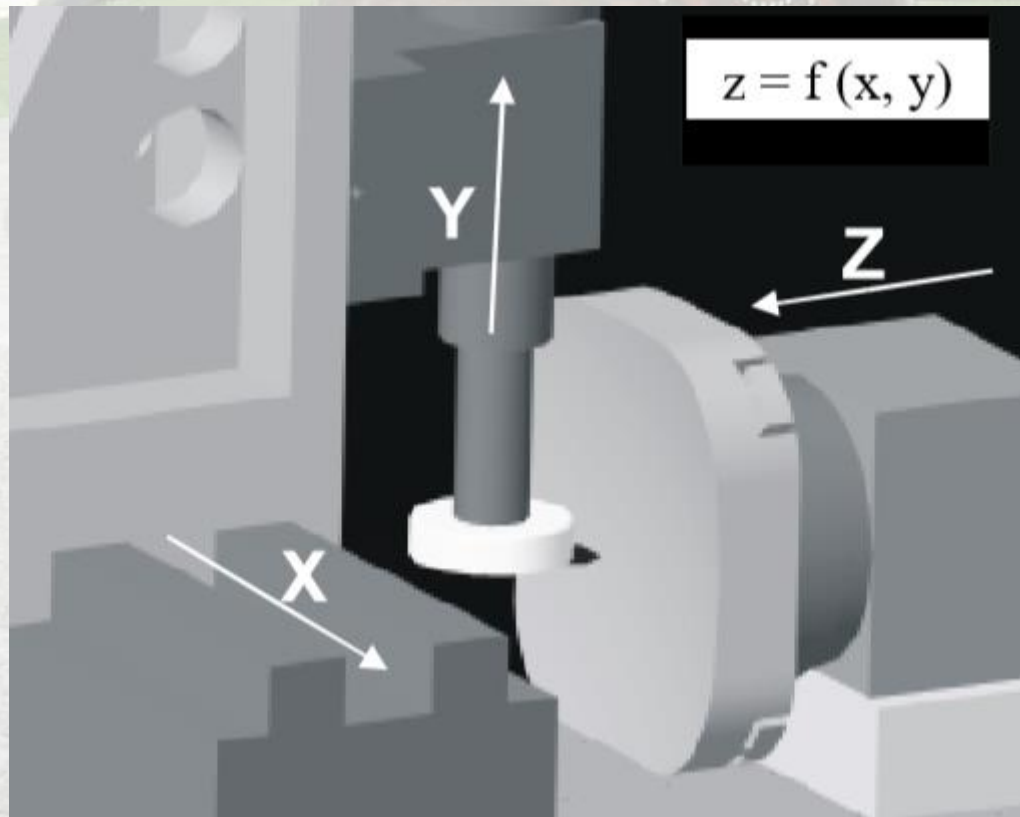
- amplitude: 76 μm
- frequency: 2 Hz
- velocity: 8 mm/s

Precision Engineering Center
North Carolina State University
Raleigh, NC

Cinemática do torneamento com ferramenta de diamante (SPDT) e *Fast Tool Servo* (FTS)



Cinemática do *raster fly-cutting*

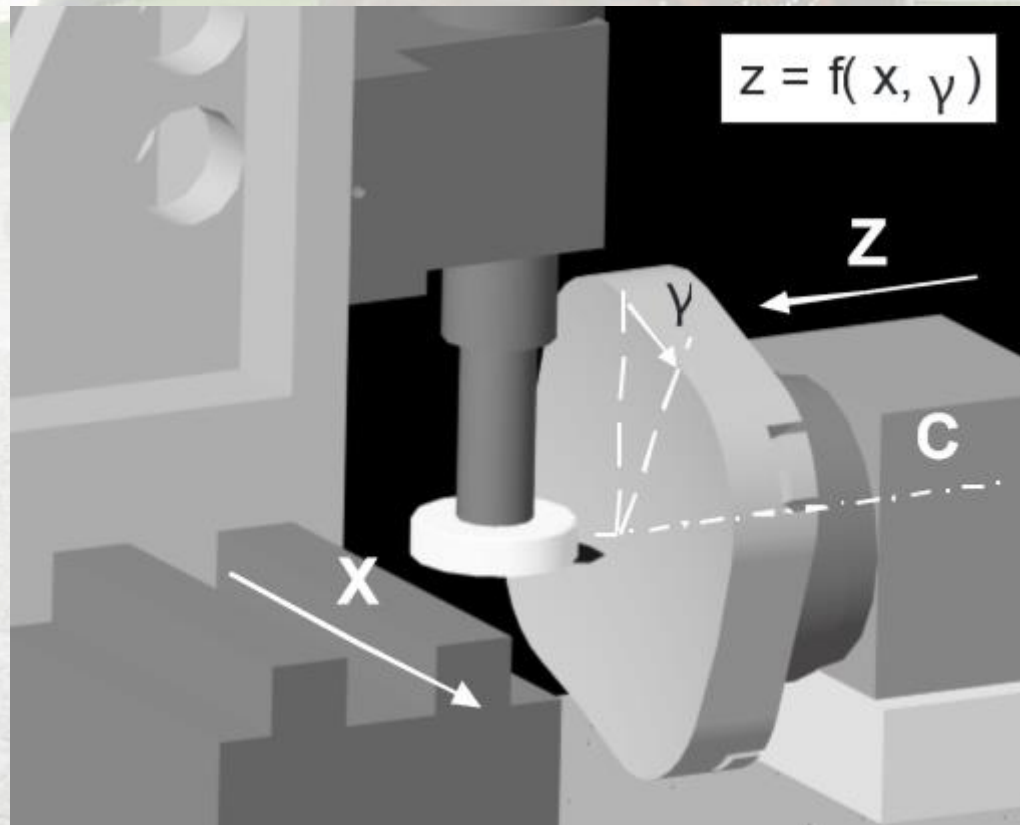


Raster fly-cutting do espelho bi-cônico IRMOS



Precitech Freeform 3000

• Cinemática do *fresamento assimétrico de contorno*

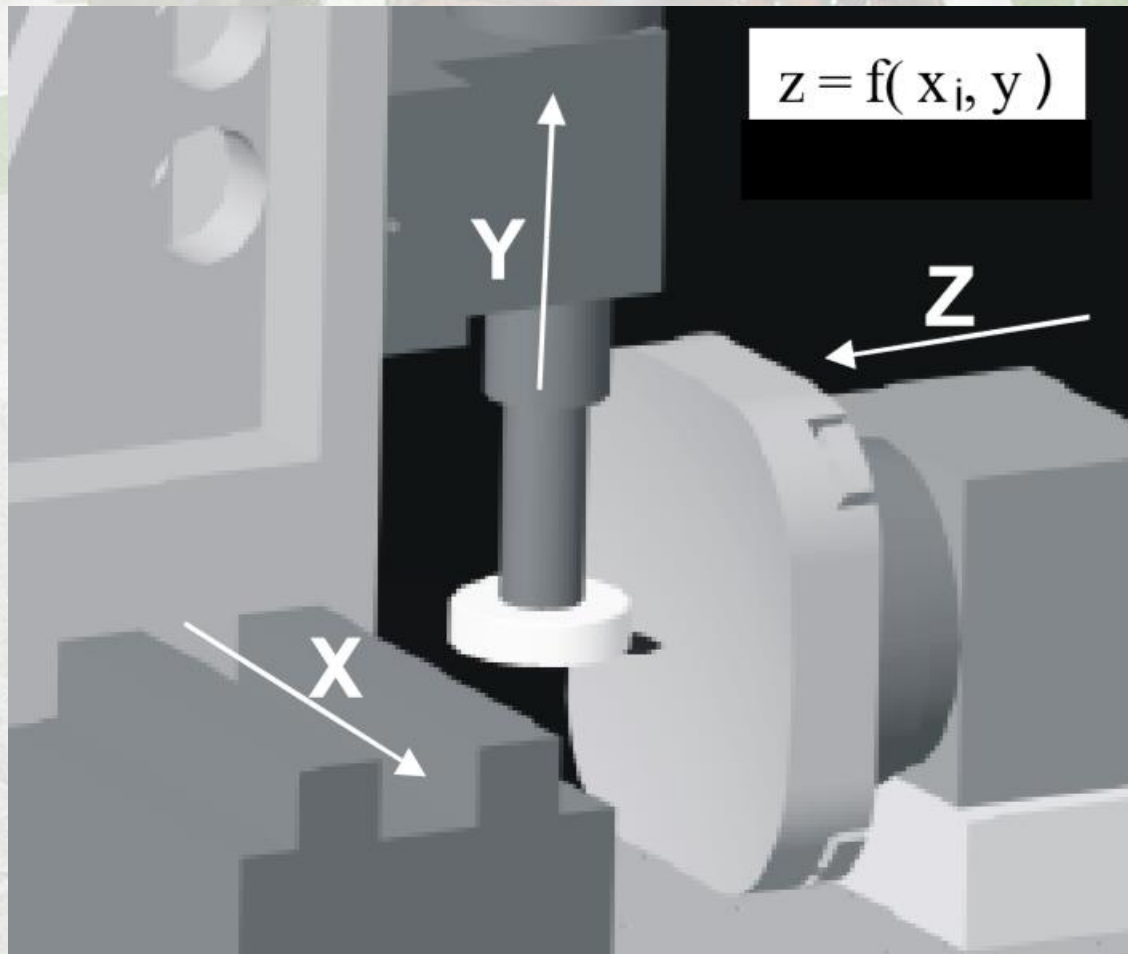


• Fresamento assimétrico de contorno dos painéis do radiotelescópio

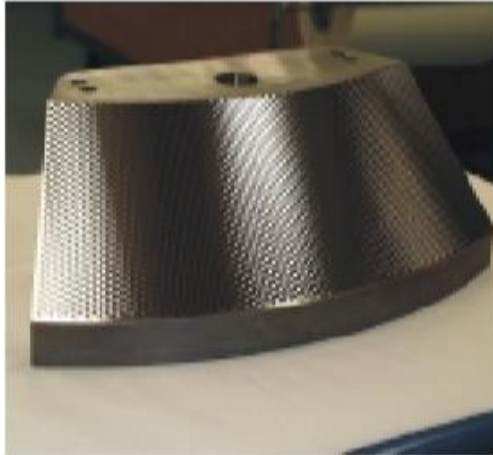


Asymmetric contour milling of radiotelescope panels

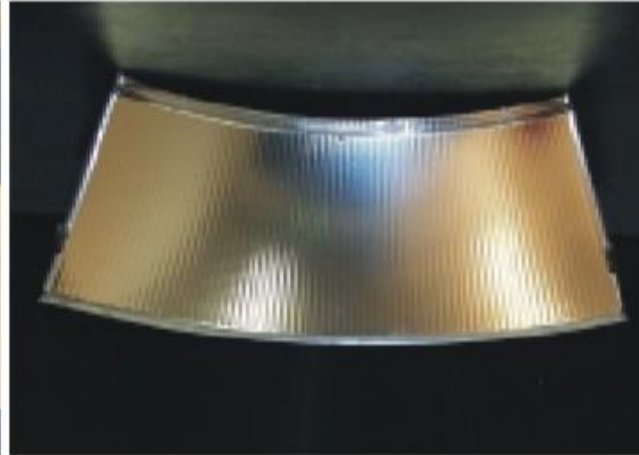
Cinemática do *fly-cutting* de contato linear



Molde do refletor anular usinado através de mandrilamento de contorno



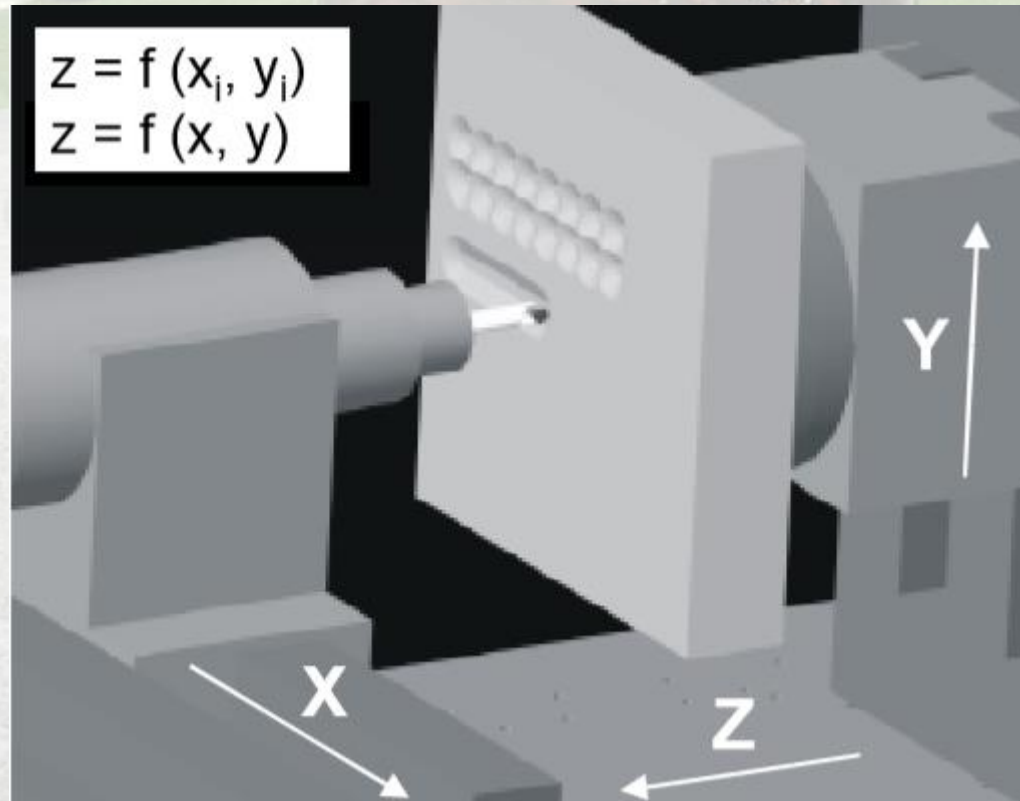
mold



PMMA replica

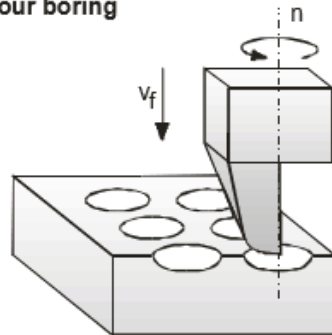
Mold:	60° section, steel alloy 1.2083 plated with 150µm electroless nickel
Microstructur:	3000 concave spheres, 4.3mm Ø, 69µm deep
Cutting parameter:	rotational speed $n = 400\text{min}^{-1}$, $f = 40\mu\text{m}/\text{min}$
Tool:	half-arc monocrystalline diamond tool nose radius $r_n = 45\text{mm}$

Cinemática do mandrilamento de contorno

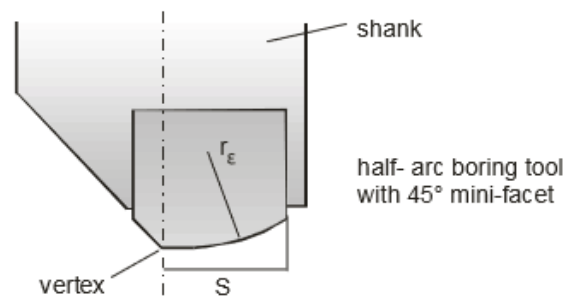
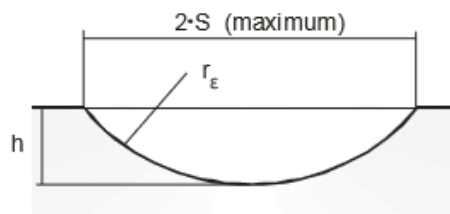


Mandrilamento de contorno com ferramenta de diamante monocristalino de geometria meio-arco

contour boring

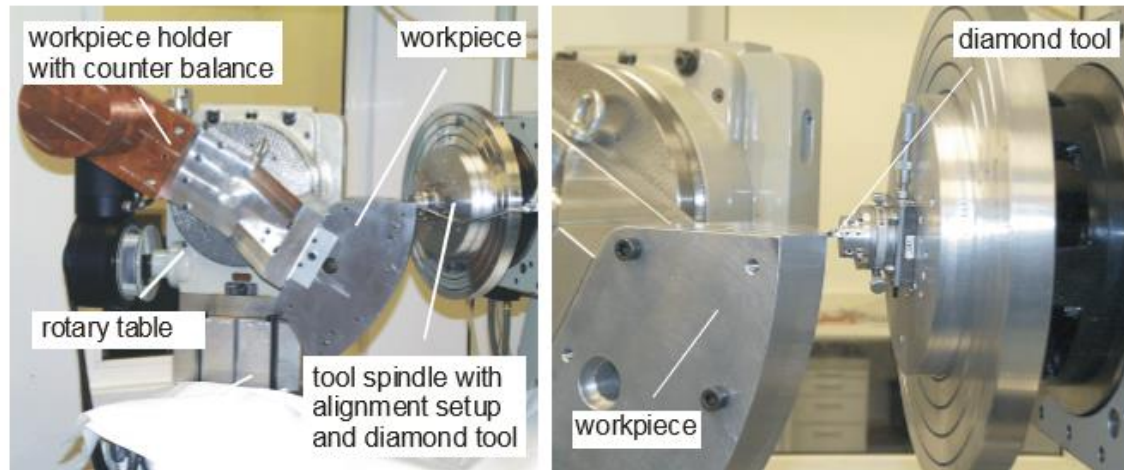


mold geometry

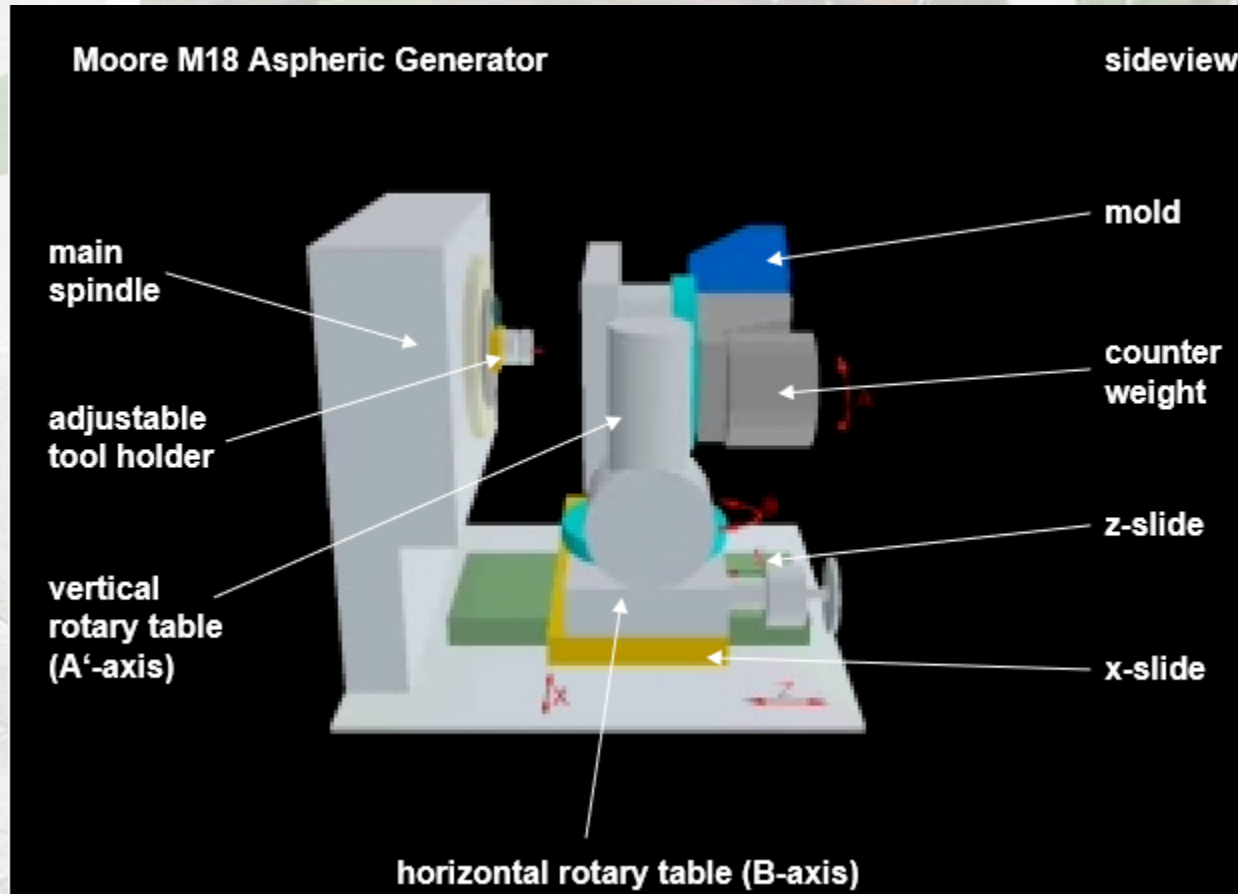


monocrystalline
diamond tool
 $r_\epsilon = 45 \text{ mm}$

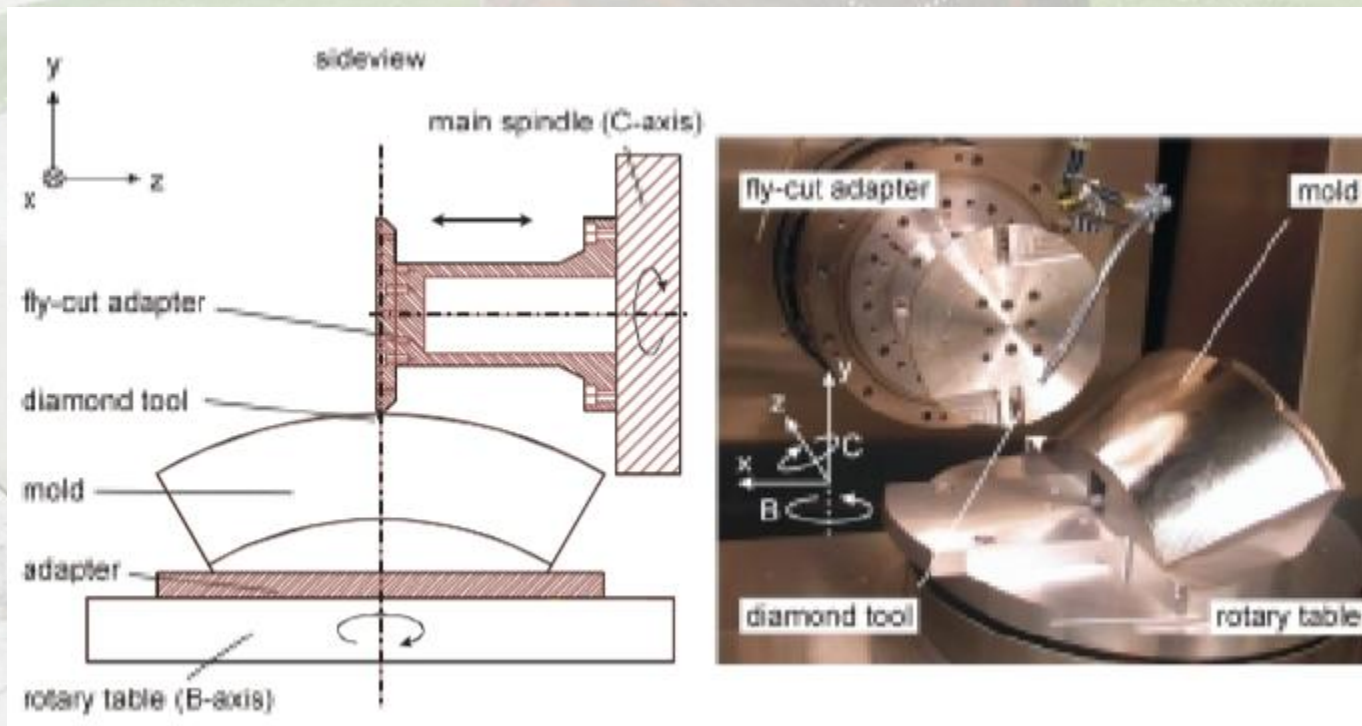
Mandrilamento de contorno de microestruturas em um molde de Ni-P não eletrolítico



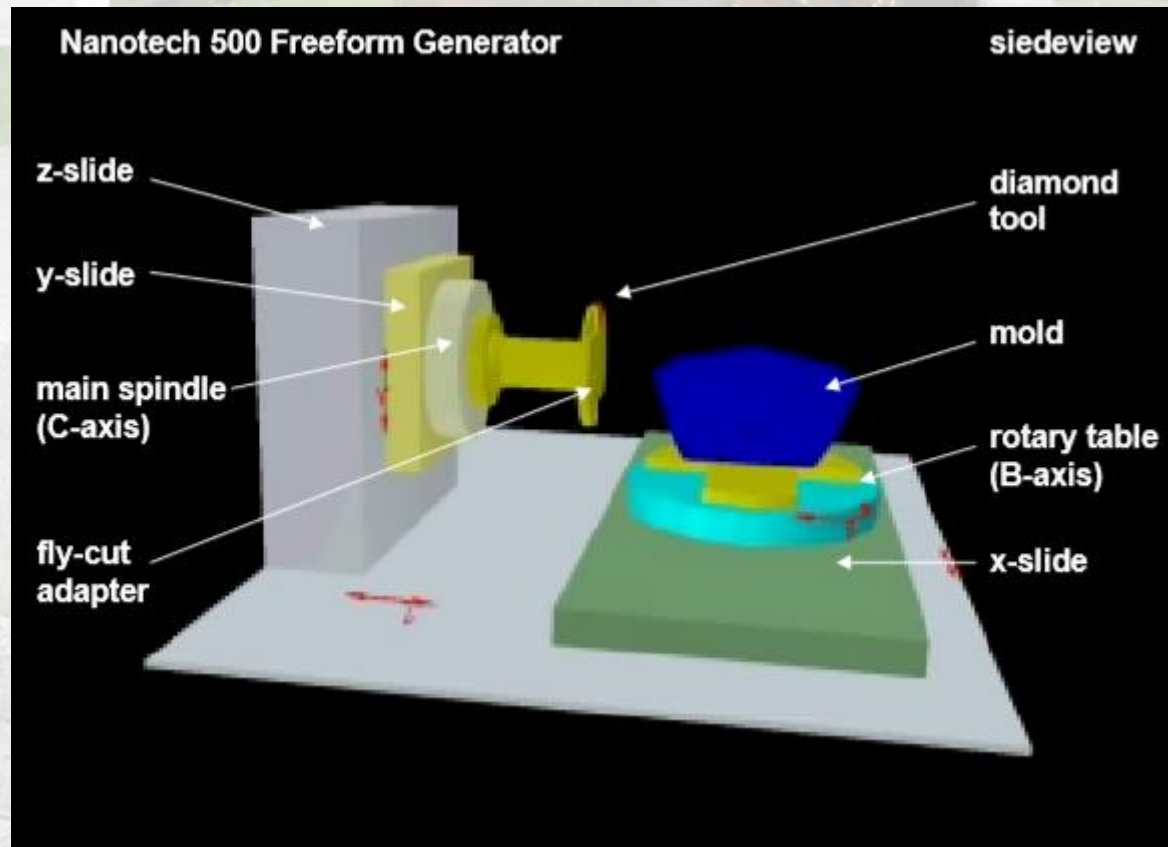
Mandrilamento de precisão de cavidades esféricas em um molde cônico



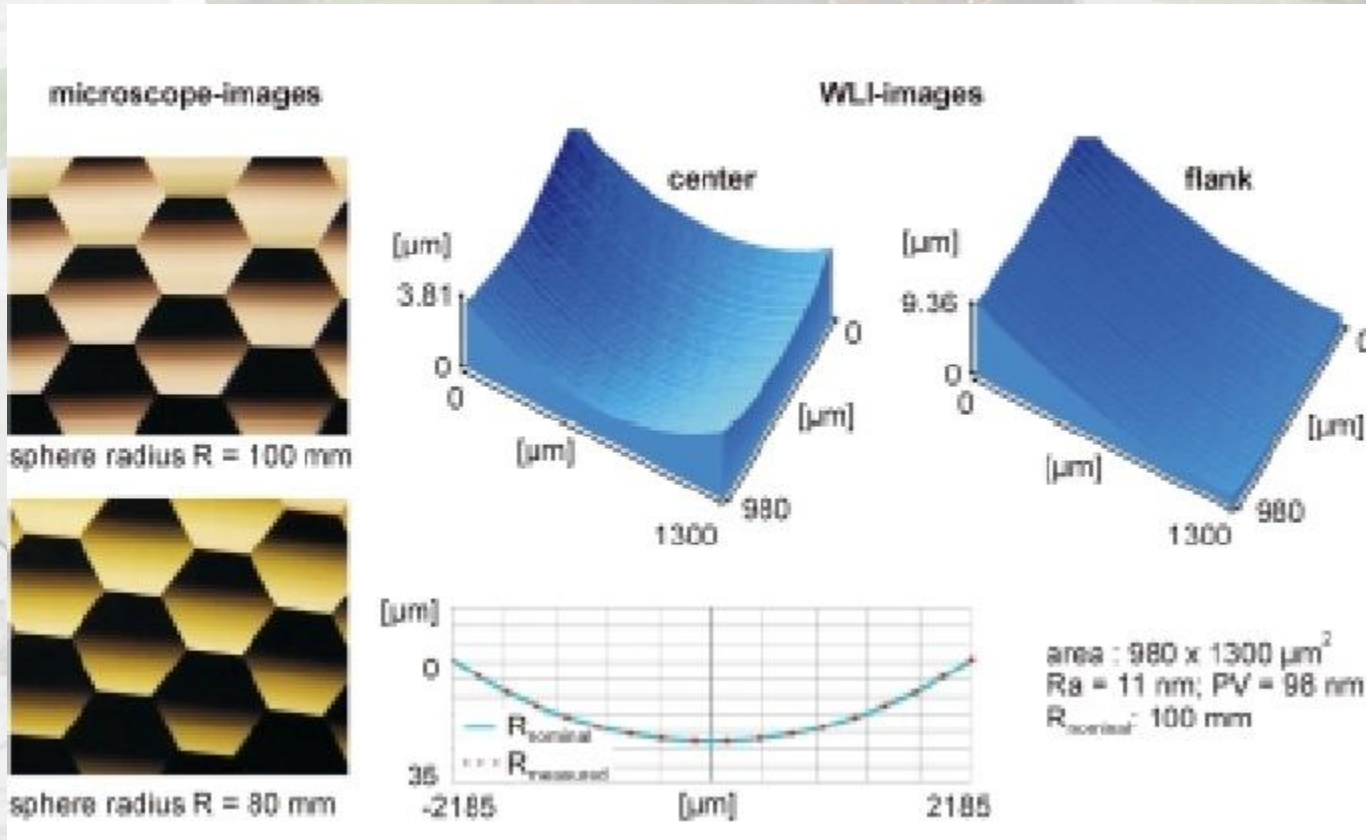
Raster Milling de cavidades esféricas em um molde cônico de alumínio recoberto com Ni-P não eletrolítico



Raster milling de cavidades esféricas em espelho cônico



Cavidades esféricas obtidas através de *Raster milling*



Super Precision Micro Machine FANUC ROB Onano Ui

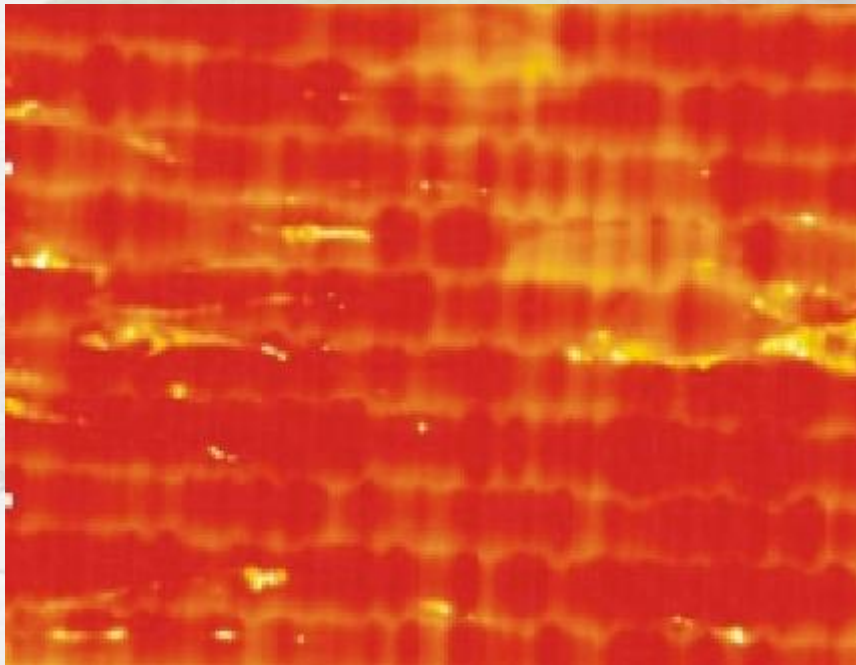


Máscara Noh com $\varnothing$ 1 mm



Rede de difração com 1 μ m de passo

1.3 Metrologia



Área 1,23 X 0.98 mm

$R_a = 7,56 \text{ nm}$

$R_q = 11,87 \text{ nm}$

Espaçamento entre linhas: $50 \mu\text{m}$

Raio de ponta da ferramenta: 10 mm

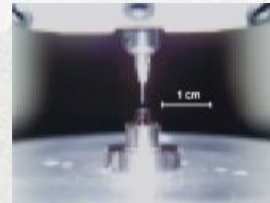
**Imagem interferométrica de luz branca
do espelho bi-côncavo obtido através de
fly-cutting.**

Métodos existentes para avaliação de superfícies de forma-livre (*free-form*)

	Vantagens	Desvantagens
Máquinas de medir 3D de ultra-precisão	Universal	Baixa resolução Lateral. Resolução vertical limitada (~100nm)
Interferometria com hologramas gerados por computador (CGH)	Alta resolução lateral Boa resolução vertical (~10nm)	Muito caro Alinhamento cuidadoso necessário

Moore M18 UCMM

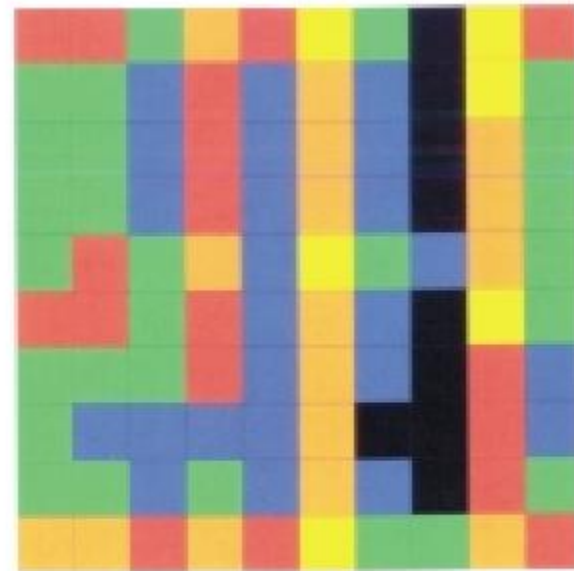
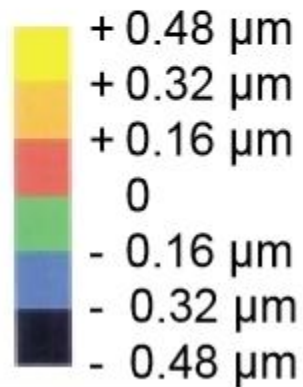
Volume de medição:	X 460 mm Y 260 mm Z 350 mm
Resolução:	0,01 μm
Precisão de posicionamento:	< 0,1 μm
Erro volumétrico:	< 0,5 μm



Erro de contorno do espelho IRMOS M4

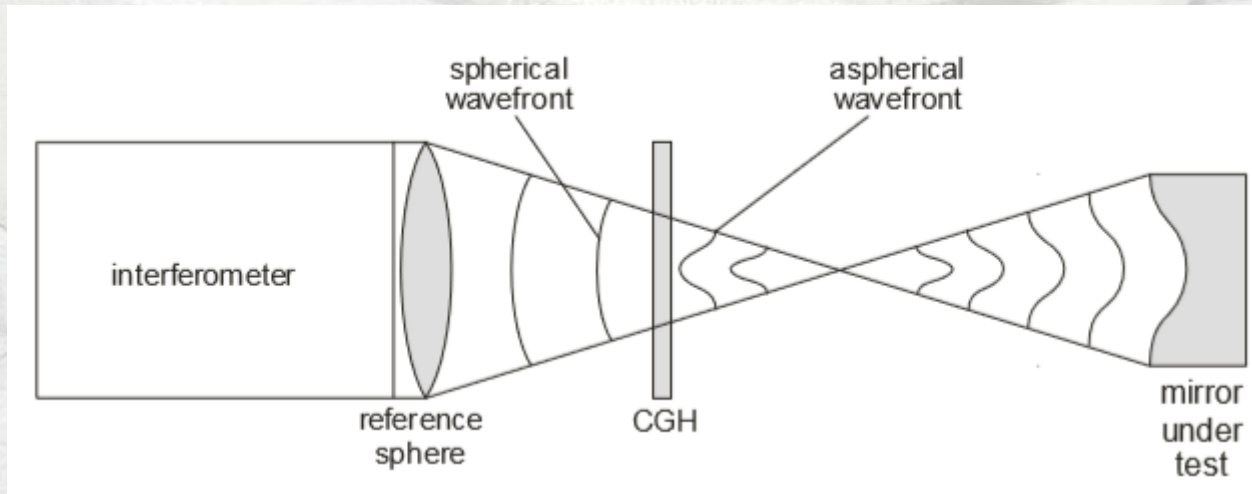
Máquina de medir Universal 3D MOORE

PV= 0.96 μm
RMS= 0.22 μm

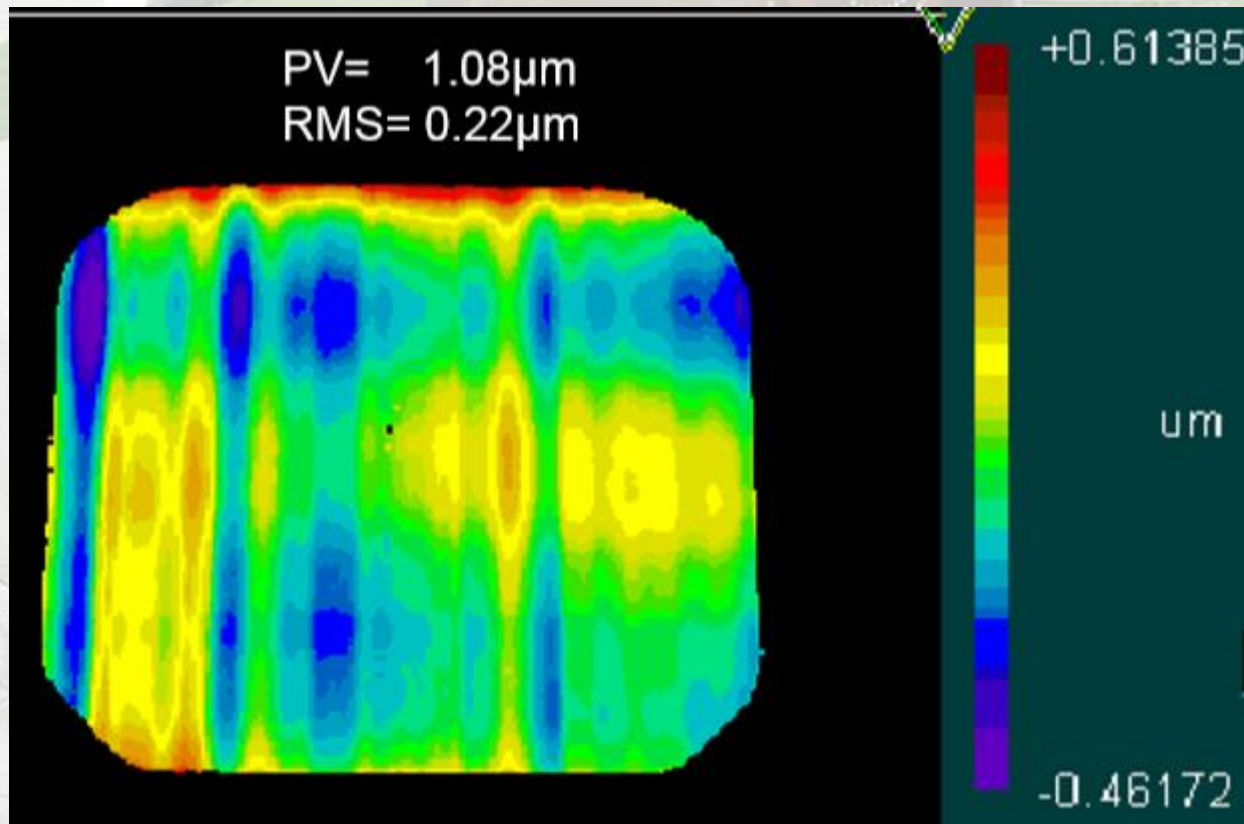


CGH interferometric null-test

- Hologramas Gerados por Computador (CGH) são elementos ópticos difrativos produzidos por processo de fotolitografia que mudam a frente de onda esférica para uma frente de onda anesférica.
- Superfícies diferentes requerem CGH diferentes
- Custo US\$ 10.000,00 por peça



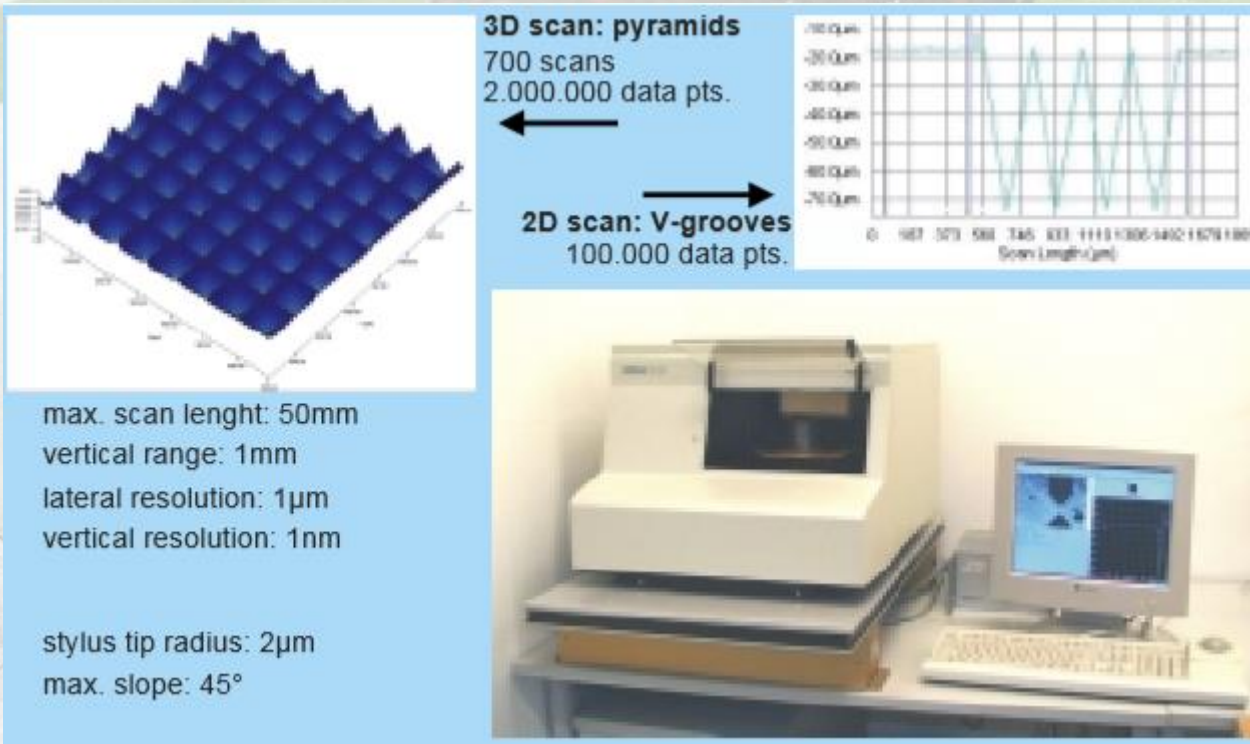
Erro de contorno do espelho IRMOS M4 medido através de CGH



Métodos de medida não destrutivos para caracterização de superfícies microestruturadas

	alcance		resolução		máxima inclinação aceitável
	lateral	vertical	lateral	vertical	
scanning force microscopy	<100 μm	<10 μm	1nm	0.1nm	45°
white-light interferometry	<3mm	<0.5mm	1 μm	1nm	25°
Perfilometria 3D	<200mm	<1mm	1 μm	1nm	45°

Tencor Profiler P15



Tencor Profiler P15

Princípio de medição

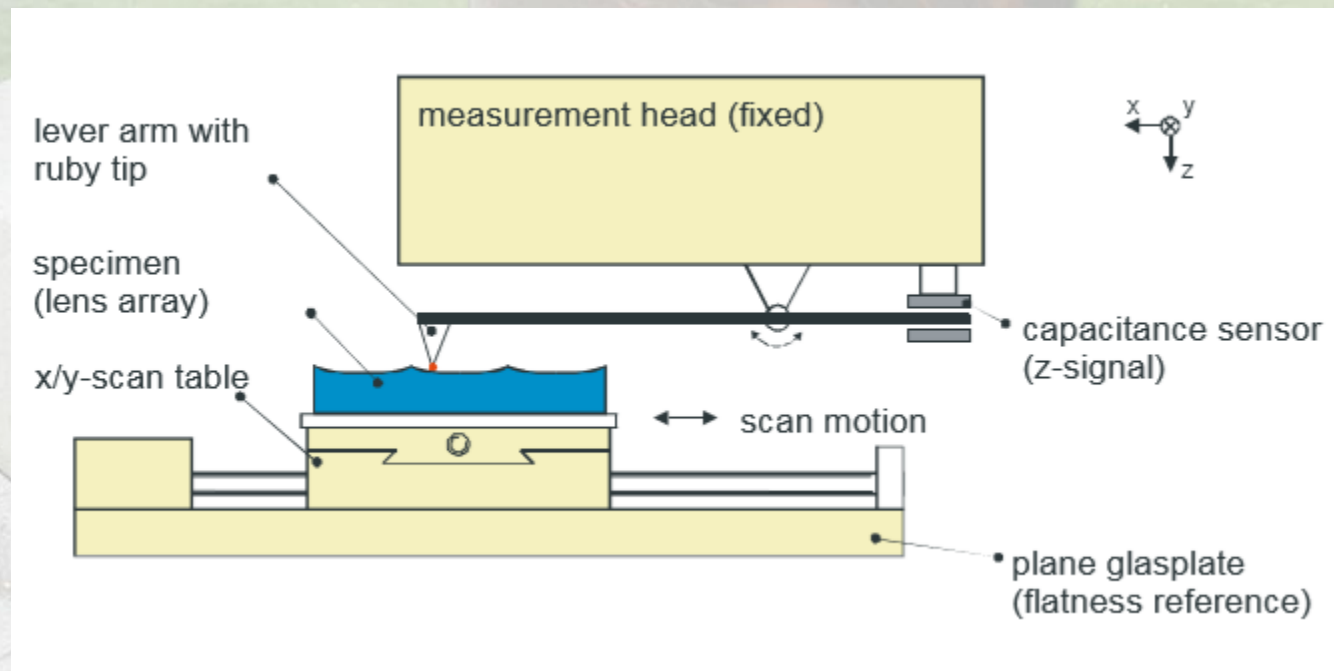
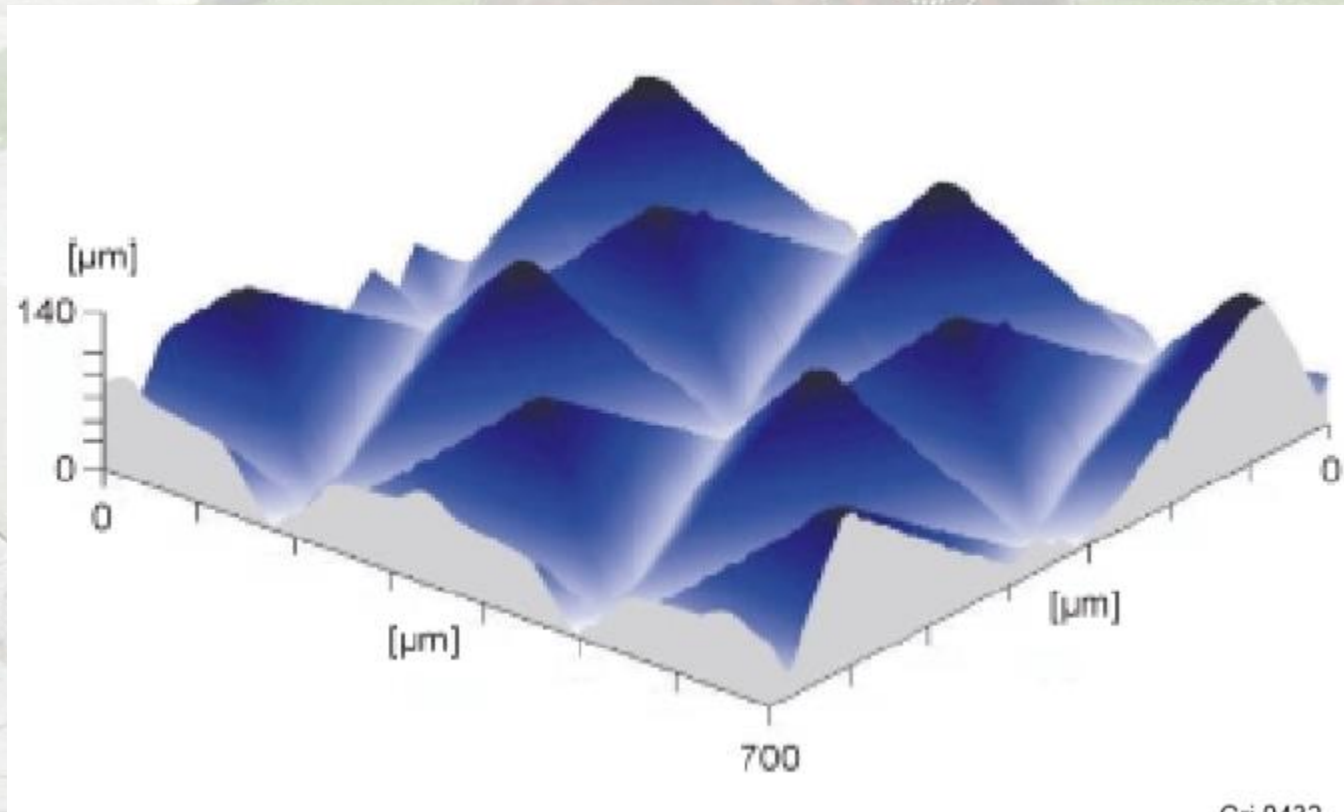


Gráfico 3D de microprismas



Design for Precision

status atual

Tanigushi, 1996

Tendências em usinagem de precisão

