



Metrología dimensional de superficies

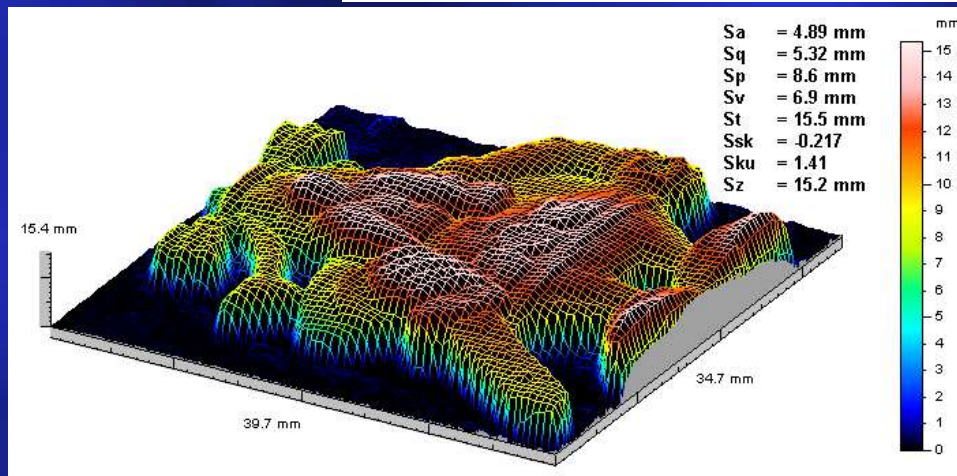
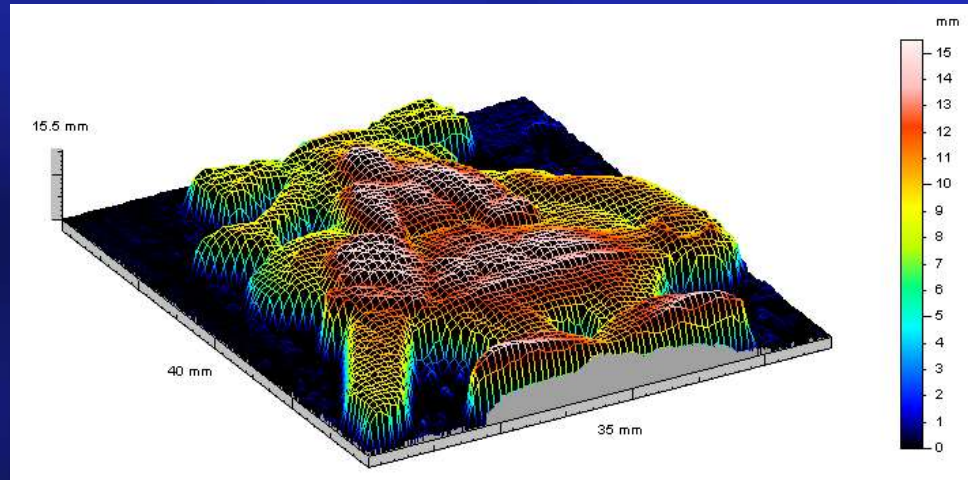
Manuel Filipe Pereira da Cunha Martins Costa

Centro de Física
Universidade do Minho

mfcosta@fisica.uminho.pt

“OPTOANDINA2015”

Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador, 9 a 13 Noviembre, 2015



Medición en objetos 3D

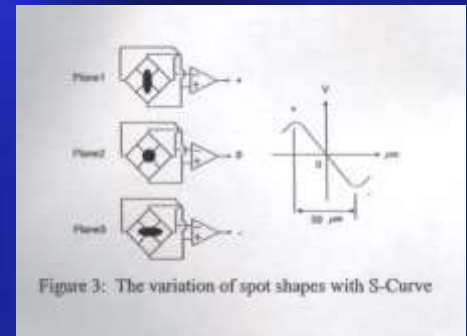
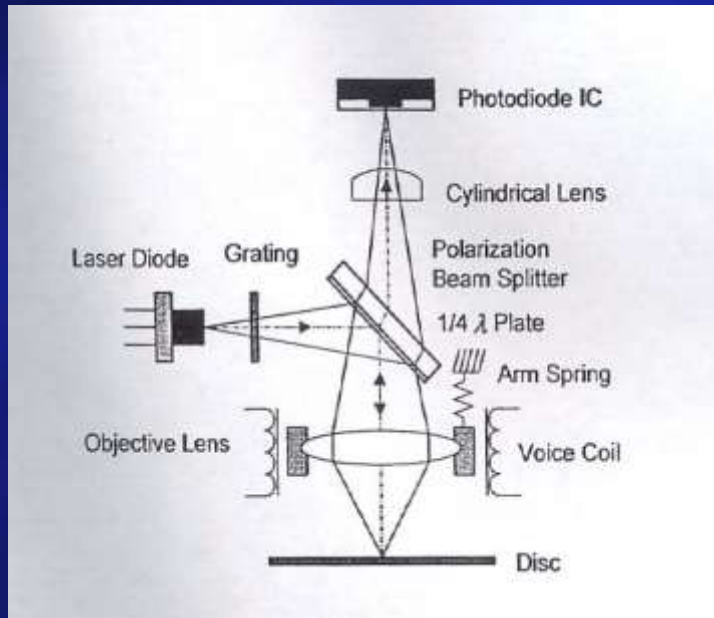
Objetos de varios tamaños desde
edificios y barcos de varios metros de altura, anchura o profundidad
a
nanoestructuras

*Tiempo de vuelo, triangulación, iluminación estructurada, Moire,
detección de foco, interferometría, microscopía confocal,
Elipsometría, Speckle, TIS, ARS, AFM,*

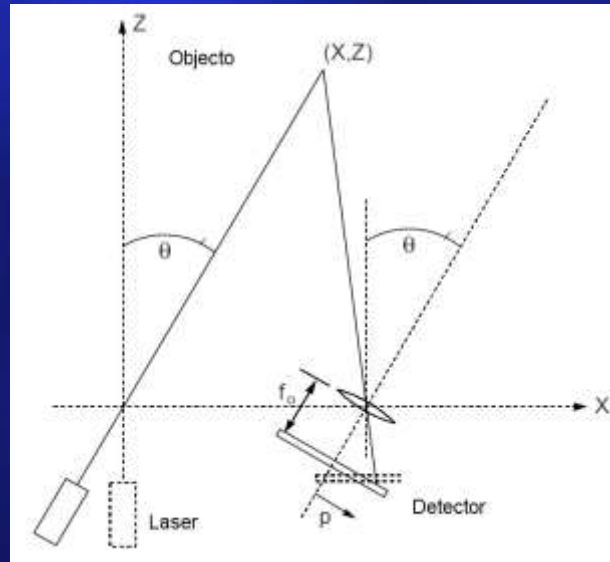
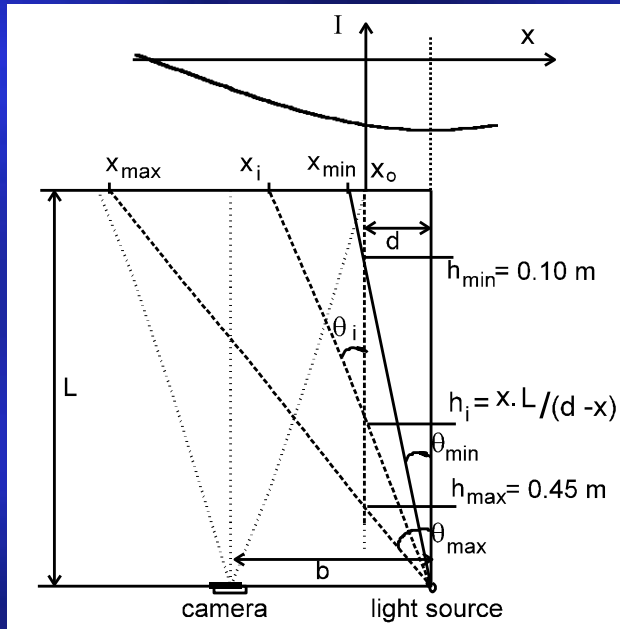
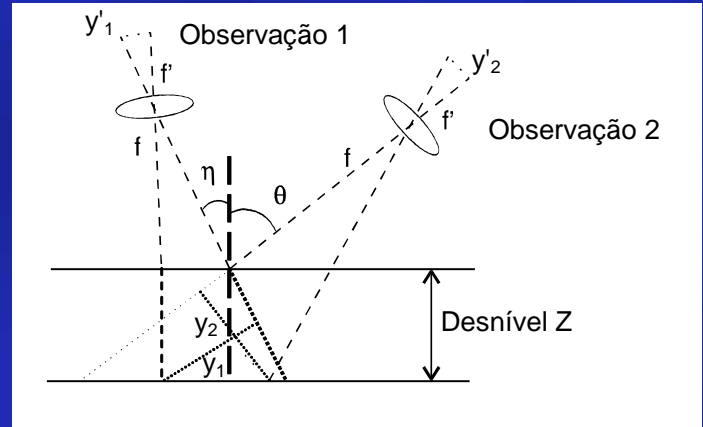
...



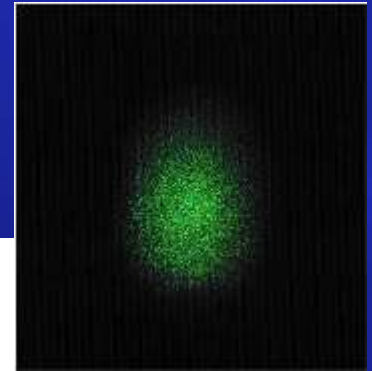
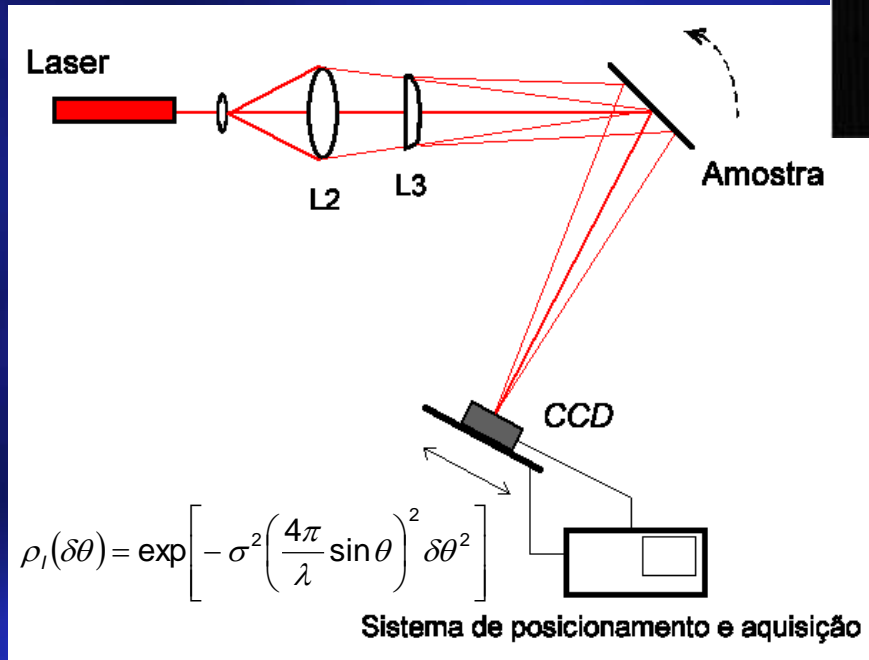
Detección de foco



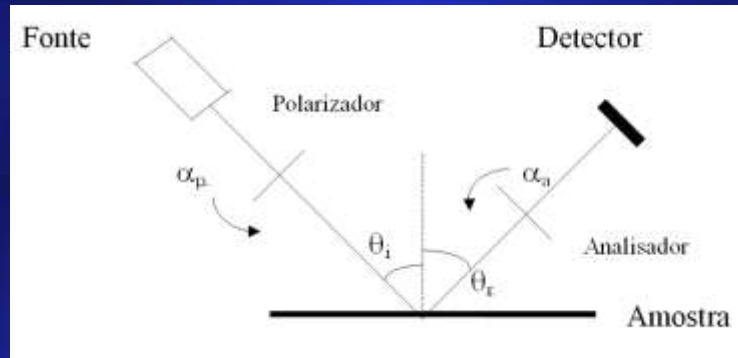
Triangulacion



Correlacion de speckle



Elipsometria



TIS

El TIS se obtiene calculando la relación entre la cantidad de luz dispersada por la superficie y la reflejada especularmente:

$$TIS = \frac{I_d}{I_e} = \left(\frac{4\pi\delta}{\lambda} \right)^2$$

δ es la rugosidade quadratica promedio R_q y λ longitude de onda.



ARS

Los sistemas de ARS (*Angle-Resolved Scattering*) en la que para un ángulo de incidencia dado en la muestra, de un rayo láser polarizado se mide la cantidad de luz reflejada en cada dirección, se ha demostrado que tienen un considerable interés, en particular, en la inspección de superficies pulidas.

Entre los muchos modelos de reflectancia el modelo de lóbulos de Gauss isotrópicos de Ward es simple y razonablemente precisa, determinando que un punto determinado de la superficie refleja la luz que viene de una dirección (θ_i, ϕ_i) en una dirección (θ_r, ϕ_r) con la distribución :

$$I_R(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) = \frac{R_d}{\pi} + R_s \cdot \frac{1}{\sqrt{\cos(\theta_i) \cdot \cos(\theta_r)}} \cdot \frac{\exp\left[-\tan^2\left(\frac{\delta}{\alpha^2}\right)\right]}{4\pi\alpha^2}$$

R_d y R_s son las reflectancias difusa e especular, δ el ángulo entre la normal a la superficie y la línea promedio entre las direcciones de incidencia y de reflexión, y α la rugosidad.



Interferometrias

...



**Medición de las dimensiones lineales, desniveles, alturas o espesores
pero también revisado topográfico completo**

no invasivo

...

Capas delgadas

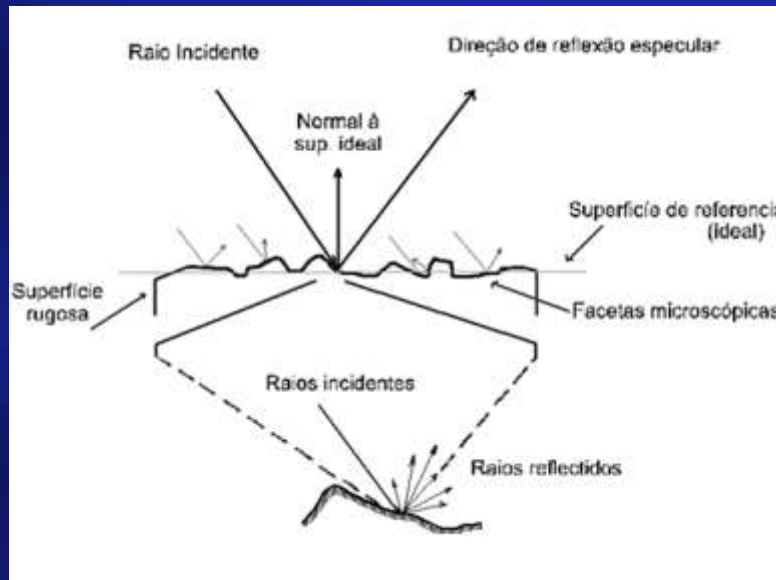
Superficies en general



Metrologia Optica de Superficies



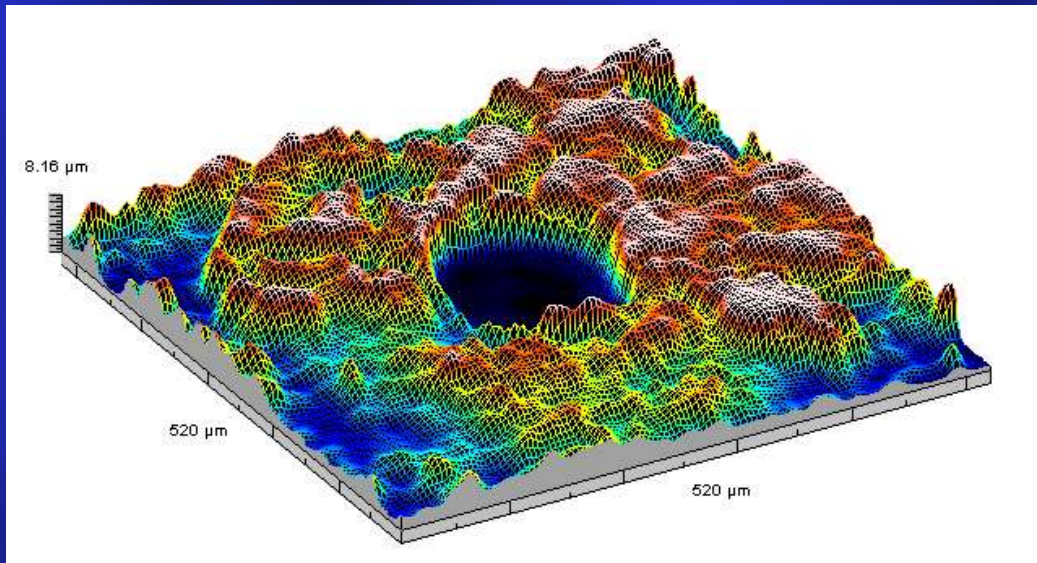
La complejidad de la estructura de relieve de los objetos y superficies



La manera como la luz se refleja en una superficie depende de su composición y su relieve (en particular de su micro-estructura). La observación de la luz reflejada por la superficie nos da información que nos permita conseguir nuestra función de relieve.



Además de la variedad de dimensiones (alturas) que se registren, es necesario tener en cuenta la forma como estas se distribuyen lateralmente, y las irregularidades se distribuyen a diferentes niveles o escalas. Esta "textura" puede considerarse como compuesta o formada por diferentes niveles de irregularidad que dan el "efecto" total.

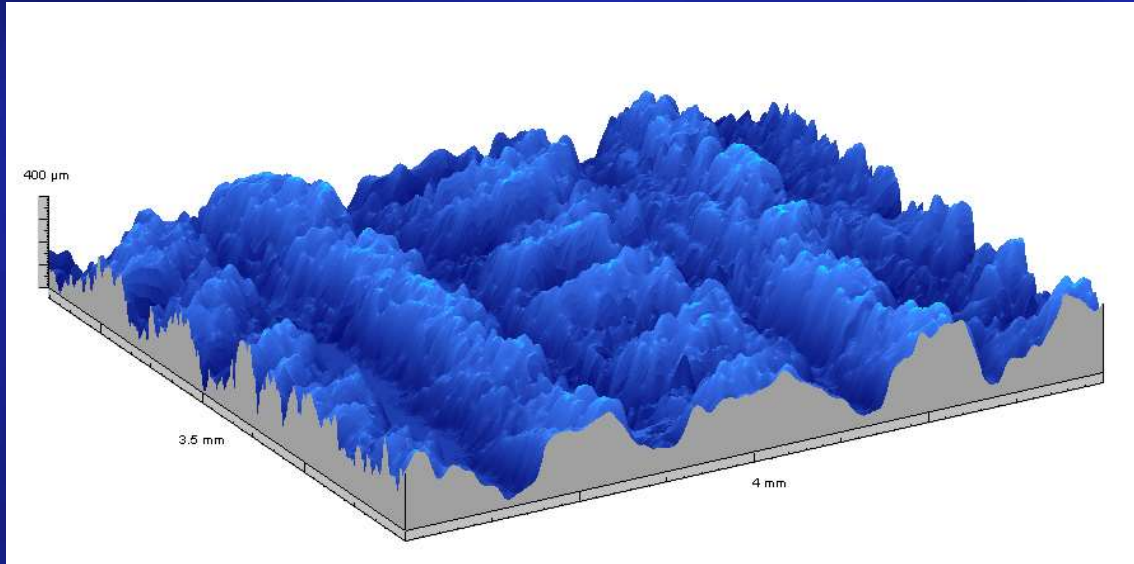


Forma

Lay



Rugosidade (microrugosidade), Ondulacion (macrorugosidade), Forma ...



Representacion del relieve de dos superficies rugosas: parte detrás de una placa de aluminio perforada; y la superficie de una muestra de tejido.



Cuando el espaciamento de las irregularidades en la superficie es del orden de unas décimas hasta varios cientos de micras nos referimos a la estructura de rugosidad de la superficie (actual) mientras que para valores más alto, hasta varios milímetros, estamos en el régimen de ondulación. Con irregularidades que de esta magnitud la luz incidente se refleja en cada punto en la dirección especular (ISO 1386).

Otra nomenclatura se puede utilizar, que consideramos de interés, en el que además de caracterizar la forma de la superficie, se distingue su rugosidad total (P) en dos escalas: la macrorugosidade (W) correspondientes a la ondulación, y microrugosidade (R) correspondiente a la rugosidad de la superficie.



Necessidade de avaliação não invasiva

Inspeção *bi- o tridimensional*

Funções e parâmetros de caracterização topográfica



La complejidad de las normas ISO y en particular sobre un problema tan complejo como la inspección topográfica de superficies, dificulta su estricta y completa "obediencia". Como ejemplo de esta dificultad sería suficiente hacer referencia al número de parámetros estadísticos especificados en la norma ISO 1302 o, más recientemente, la norma ISO 4287 en 1997, ISO 12085 (utilizando el "motivo") y ISO 13565-2 (parámetros obtenidos de la Abbott-Firestone curva) en 1996, de los cuales sólo unos pocos en sentido estricto, se pueden aplicar a la evaluación topográfica (tridimensional) integral de superficies.

Las normas ISO definen 27 parámetros de amplitud 3 de espaciamiento y 17 parámetros híbridos de los cuales 14 conectados con la curva de Abbott. Además de estos parámetros dimensionales se han propuesto una serie de parámetros 3D que están bajo discusión. Además hay la separación de regímenes de rugosidad. Así que además de los parámetros (y funciones) para el perfil general, P (o mapa de la superficie, S, a tres dimensiones) tendremos que obtener esos parámetros (y funciones) pero también para los regímenes de ondulación, W, y de rugosidad, R..



Inspection System: MICROTOP.06.MFC / File Name: paupreto20x20_400x400points_par.txt / Statistical Parameters
 Acquisition Date: 17-12-2007 / Effective Surface Area: 398449357 μm^2 / Inspected Points: 400 x 400

2D parameters:

| | | |
|---------------------------------|---|----------------------------|
| Ra = 51.96 μm | (Ra -> Arithmetic Mean Deviation of the Profile) | Sa = 51.96 μm |
| Rq = 69.74 μm | (Rq -> Root-mean-square Deviation of the Profile) | Sq = 69.74 μm |
| Rt = 307.80 μm | (Rt -> Total Height of the Profile) | St = 307.80 μm |
| Rp = 99.14 μm | (Rp -> Maximum Peak Height of the Profile) | Sp = 99.14 μm |
| Rv = 208.66 μm | (Rv -> Maximum Valley Depth of the Profile) | Sv = 208.66 μm |
| Rz = 303.89 μm | (Rz -> Ten-point Height of the Profile) | Sz = 303.89 μm |
| $\Delta a = 9.01$ | (Δa -> Arithmetic Mean Slope of the Profile) | S $\Delta a = 9.16$ |
| $\Delta q = 97.34$ | (Δq -> Root-mean-square Slope of the Profile) | S $\Delta q = 98.62$ |
| $\lambda a = 36.25 \mu\text{m}$ | (λa -> Arithmetic Mean Wavelength of the Profile) | Ssk = -1.59 |
| $\lambda q = 4.50 \mu\text{m}$ | (λq -> Root-mean-square Wavelength of the Profile) | Sku = 4.99 |
| Sm = 403.13 μm | (Sm -> Mean Spacing Between the Profile Peaks) | Sk = 87.22 μm |
| Rsk = -1.59 | (Rsk -> Skewness of the Profile Height Distribution) | Spk = 39.28 μm |
| Rku = 4.99 | (Rku -> Kurtosis of the Profile Height Distribution) | Svk = 181.30 μm |
| H = 143.67 μm | (H -> Swedish Height of the Profile) | Sr1 = 0.80 μm |
| Rk = 89.53 μm | (Rk -> Core Roughness Depth of the Profile) | Sr2 = 19.60 μm |
| Rpk = 33.72 μm | (Rpk -> Reduced Peak Height of the Profile) | |
| Rvk = 184.55 μm | (Rvk -> Reduced Valley Depth of the Profile) | |
| Mr1 = 5.95 % | (Mr1 -> Material Ratio at the End of the Peak Portion of the Abbott-Firestone Curve of the Profile) | |
| Mr2 = 72.96 % | (Mr2 -> Material Ratio at the Beginning of the Valley Portion of the Abbott-Firestone Curve of the Profile) | |
| A1 = 1.00 μm | (A1 -> "Area" of the Peak Portion of the Abbott-Firestone Curve of the Profile) | |
| A2 = 24.95 μm | (A2 -> "Area" of the Valley Portion of the Abbott-Firestone Curve of the Profile) | |

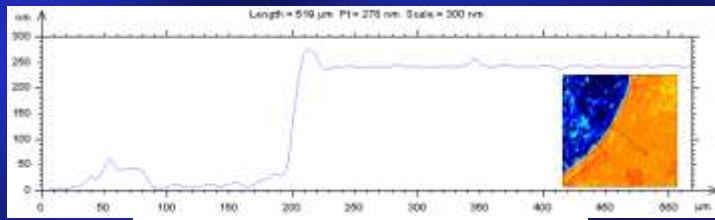
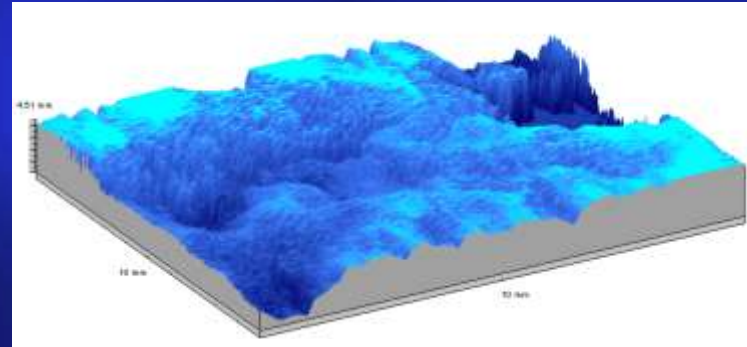
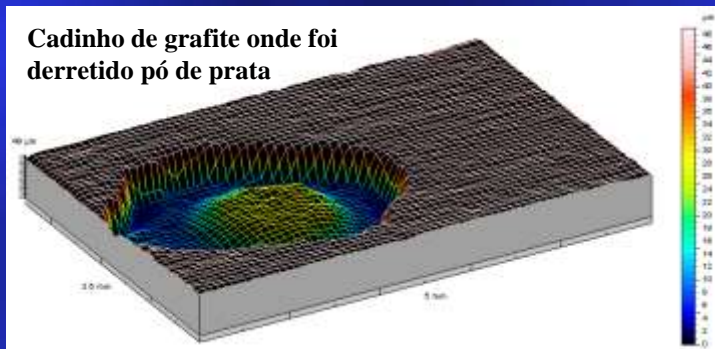
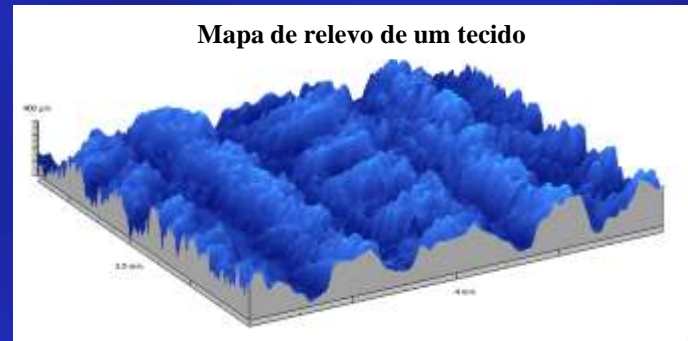
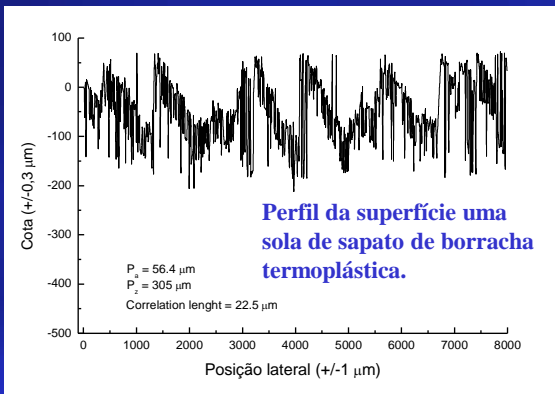
3D parameters:

Sa = 51.96 μm
 Sq = 69.74 μm
 St = 307.80 μm
 Sp = 99.14 μm
 Sv = 208.66 μm
 Sz = 303.89 μm
 S $\Delta a = 9.16$
 S $\Delta q = 98.62$
 Ssk = -1.59
 Sku = 4.99
 Sk = 87.22 μm
 Spk = 39.28 μm
 Svk = 181.30 μm
 Sr1 = 0.80 μm
 Sr2 = 19.60 μm

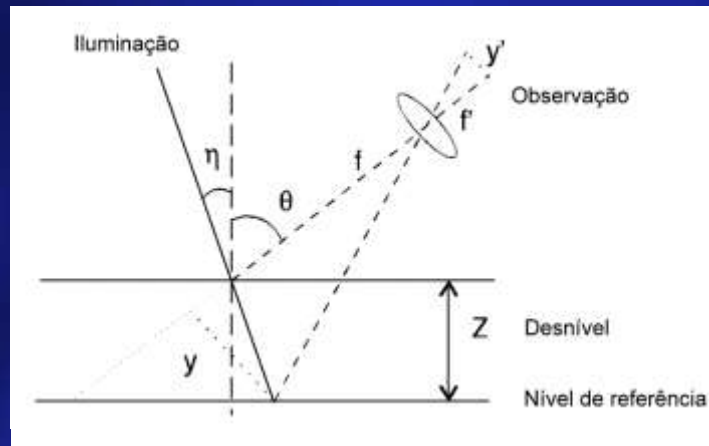


MICROTOP.06.MFC





Triangulação



Esquema de triangulação activa com uma direcção de incidência e uma direcção de observação.

$$y' = M \frac{Z \sin(\eta + \theta)}{\cos \eta + (Z/f) \cot(\eta + \theta)}$$



El sistema de inspección micrográfica que hemos desarrollado ha sido diseñado para permitir la ejecución de los diferentes aproximaciones del método de triangulación óptica.

La inspección debe tener en cuenta las características de la muestra en cuestión y la tarea de metrología a desarrollar.



Triangulacion óptica

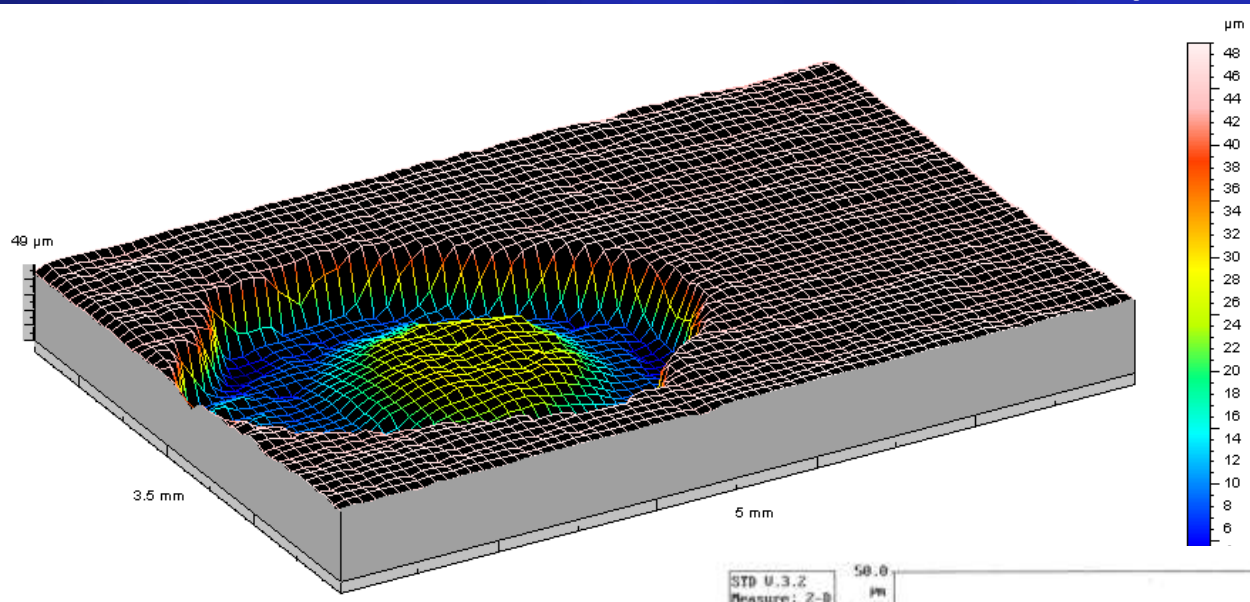
Aplicacion a superficies rugosas.

Incorporando un conjunto de soluciones técnicas y métodos de uso en otros domínios:

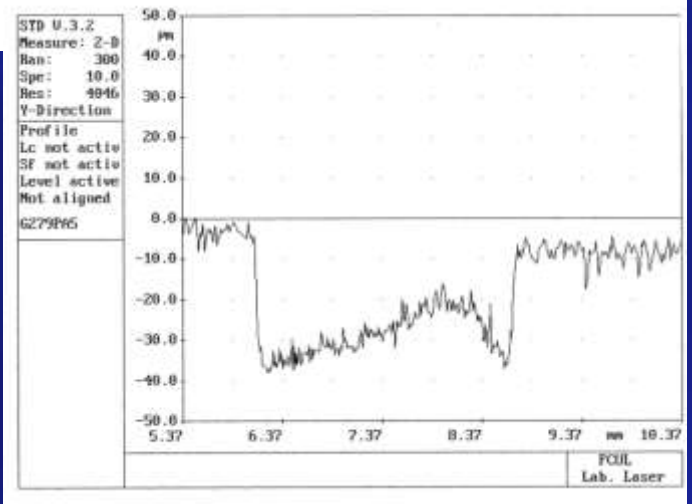
- **microscopia confocal**
- **geometria de Scheimpflug em fotografia**
- **varrimento sincronizado**
- **deslocamento vertical da amostra**
- **interpolação subpixel**
- **filtragem de Fourier**
- **gel de acoplamento**
- **ARW**
- **TIS**
- **...**





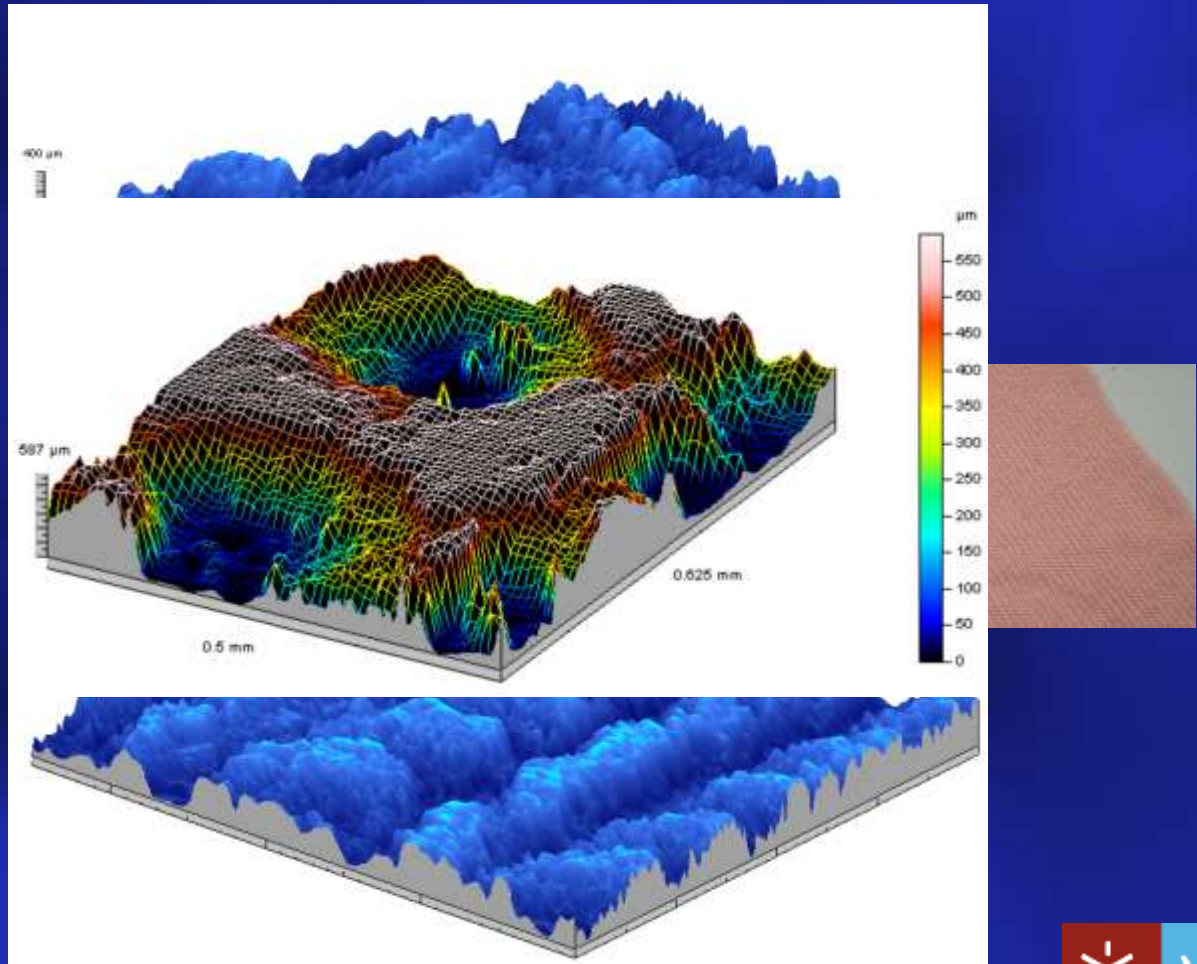


Representação axonométrica do relevo da superfície da base de um cadinho de grafite onde foi derretida prata.



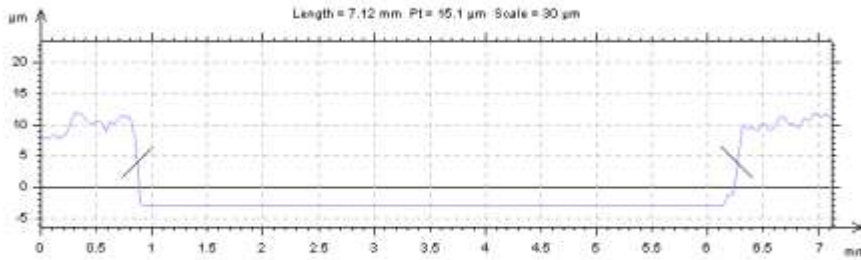
Inspeção com o sistema Rodenstock RM100

Inspecção topográfica da superfície de um tecido em duas vistas diferentes



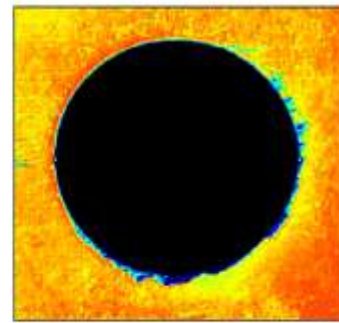
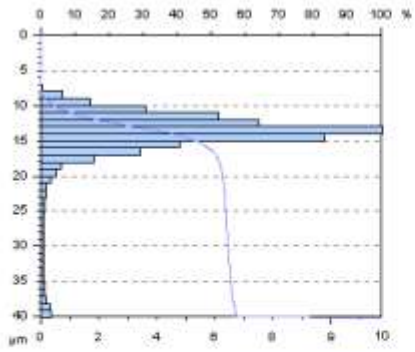
IN

DEL



- clude parameters μm
- = 8.19 μm
 - = 8.33 μm
 - = 15.8 μm
 - = 9.21 μm
 - = 25 μm
 - = -0.143
 - = 1.09
 - = 20.9 μm

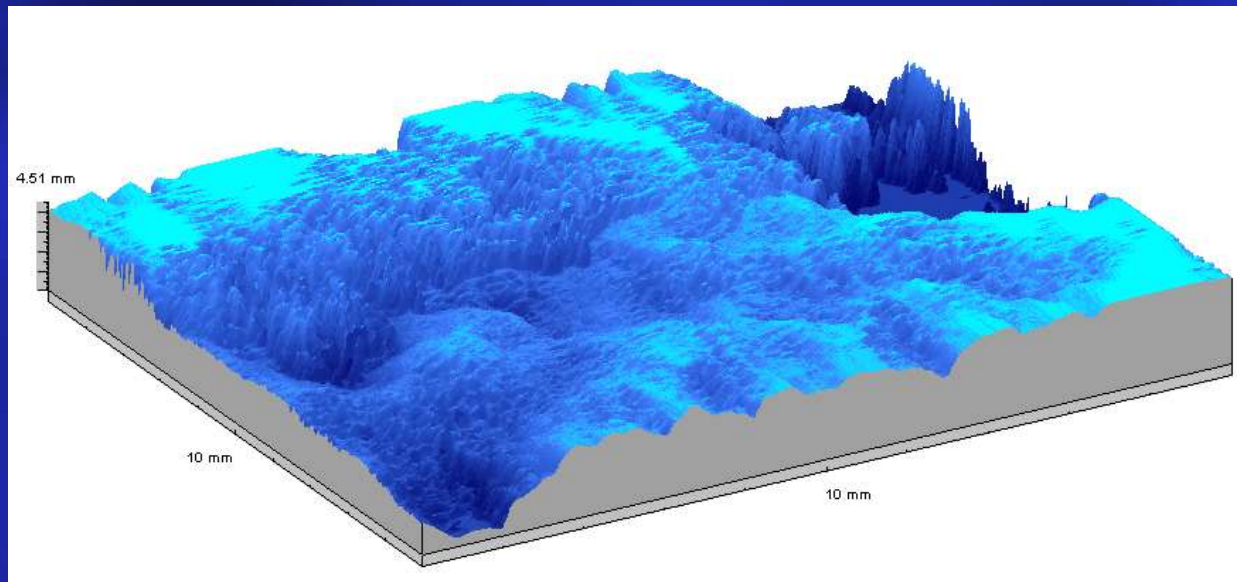
40 μm



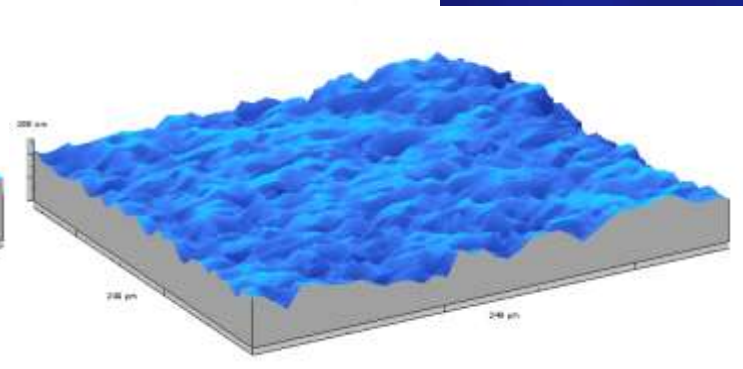
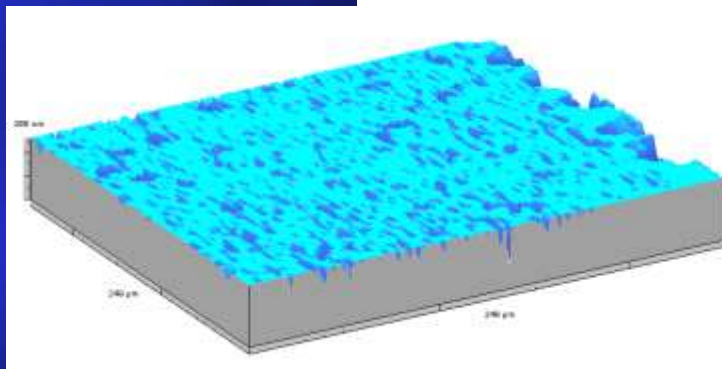
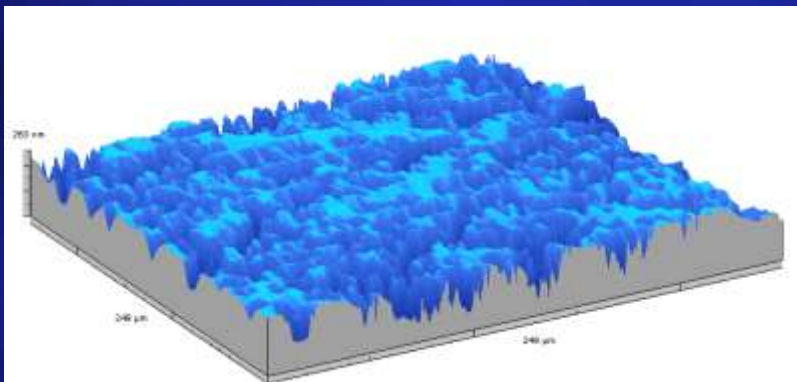
Cursor 1: X = 0.905 mm Y = 3.49 mm Z = 0.513 μm
 Cursor 2: X = 6.2 mm Y = 3.49 mm Z = 1.79 μm
 Horizontal distance : 5.29 mm
 Variation in height : 1.28 μm
 Oblique distance : 5.29 mm

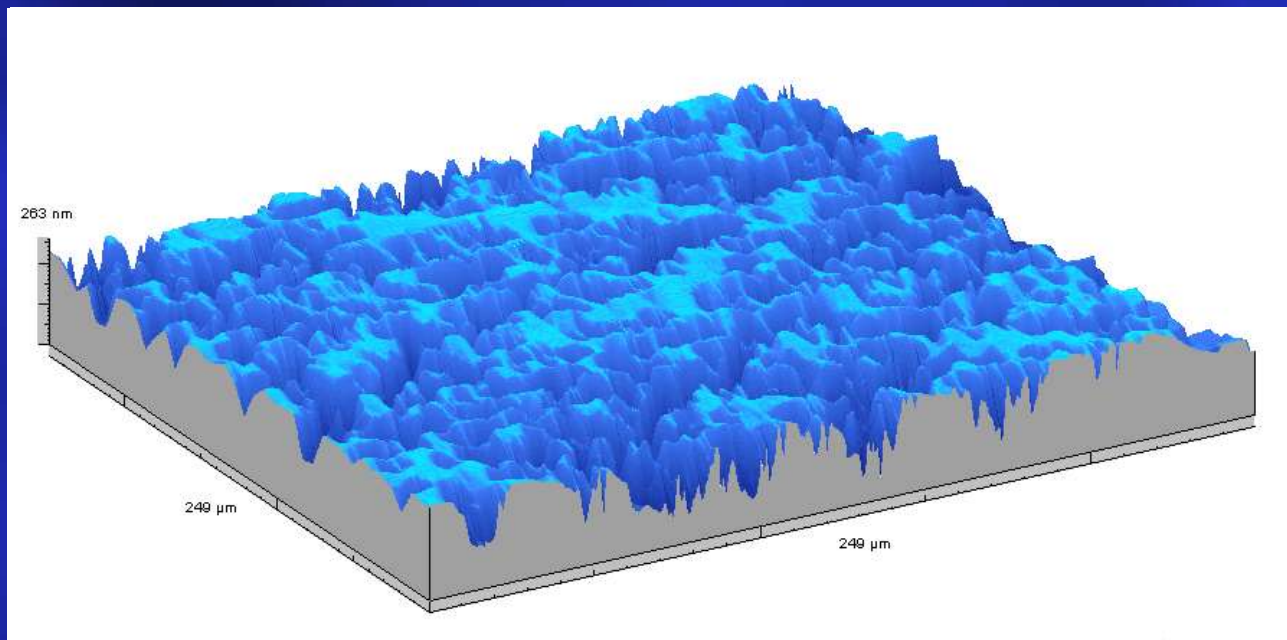


Inspecção topográfica da superfície de fractura em blocos de granitos

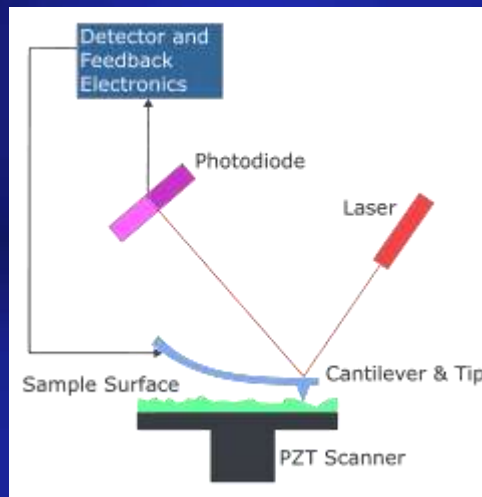


nanotopografia...





AFM

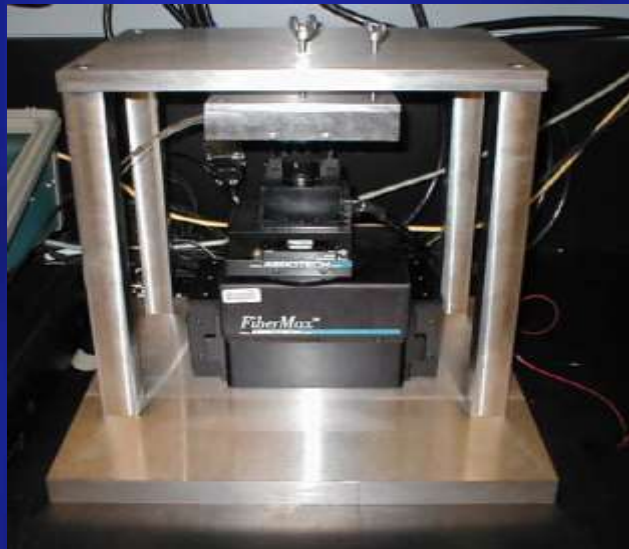


AFM

An atomic force microscope for traceable dimensional metrology has been developed by NIST for nanometer scale measurement applications. This instrument is called the calibrated AFM (C-AFM) and is a custom-built system that has integrated traceable displacement metrology on all three axes of motion. This is accomplished through the use of laser interferometers, and the 633 nm wavelength of a He-Ne laser is used to realize the SI meter. This instrument is now in its fourth generation and the current scanner has a lateral range of 100 μm and vertical range of up to 5 μm . (NIST 2008)



Nano-CMM System



Georgia Tech

3rd International Conference
on
Applications of Optics and Photonics
Faro, Portugal, May 2017



www.optica.pt

Segunda Escuela Andina de Óptica, Espectroscopía,
Fotónica y Láseres

“OPTOANDINA2015”
Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador,
9 a 13 Noviembre, 2015

Obrigado



mfcosta@fisica.uminho.pt

