

AFM

Atomic Force Microscopy

Rasterkraftmikroskopie

Roman Schmitz

14.06.2005

Prinzip des AFM

Aufbau

Wechselwirkung Spitze-Probe

Verschiedene Betriebsmodi

Anwendungen

Dynamische Kraftspektroskopie

Messung schwacher Magnetfelder

AFM in der Lithographie

Datenspeicher

Aufnahmen

Rasterkraftmikroskop

Magnetisches Kraftmikroskop

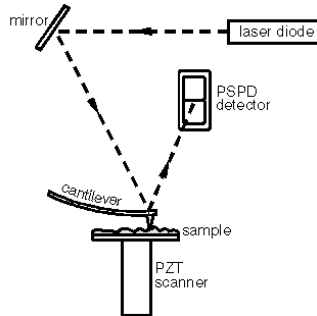
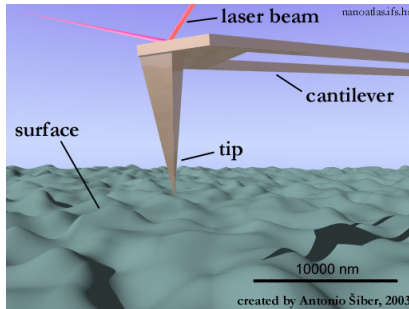
Nanolithographie

Das Rasterkraftmikroskop

1985: Binnig, Quate (Nobelpreis 1986 für RTM), Gerber:
Abtasten der Oberfläche mit (möglichst) atomarer Spitze ähnlich
RTM, verschiedene Wechselwirkungen möglich.

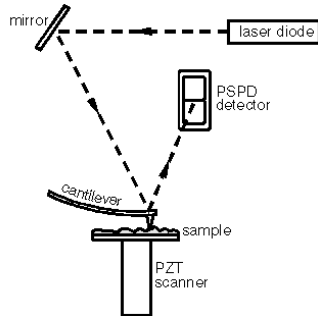
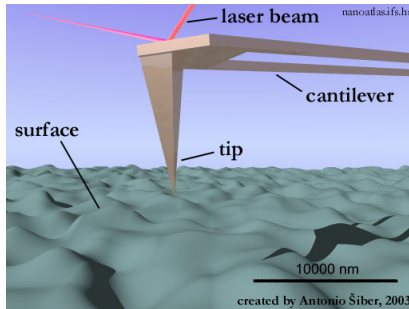


Das Rasterkraftmikroskop - Aufbau



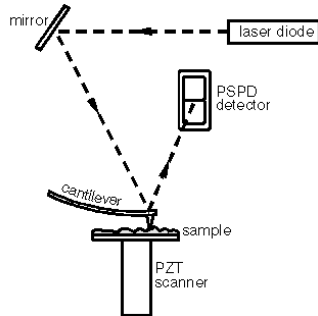
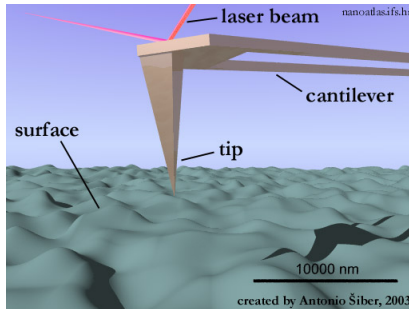
- ▶ Hebelarm (cantilever) mit Spitze tastet Oberfläche ab

Das Rasterkraftmikroskop - Aufbau



- ▶ Hebelarm (cantilever) mit Spitze tastet Oberfläche ab
- ▶ Positionierung mit Piezo-Elementen im Å-Bereich

Das Rasterkraftmikroskop - Aufbau



- ▶ Hebelarm (cantilever) mit Spitze tastet Oberfläche ab
- ▶ Positionierung mit Piezo-Elementen im Å-Bereich
- ▶ Messung Auslenkung (sub-Å): STM, optisch oder piezoresistiver Cantilever

Wechselwirkung Spitze-Probe

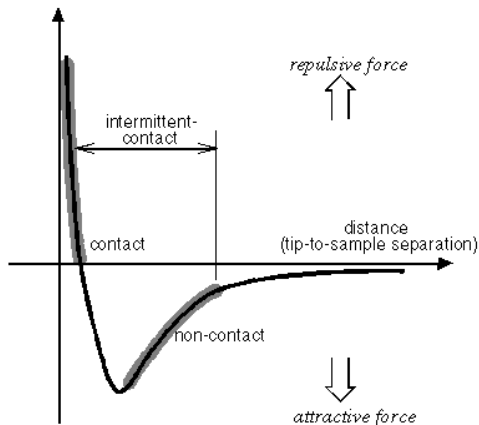


Abbildung: Lennard-Jones-Potential: $V(r) \sim \frac{\alpha}{r^{12}} - \frac{\beta}{r^6}$

Contact-Mode

- ▶ Cantilever mit hoher Federkonstante
- ▶ Anziehende Kräfte um $\sim 10^{-8} \dots 10^{-6}$ N

Contact-Mode

- ▶ Cantilever mit hoher Federkonstante
- ▶ Anziehende Kräfte um $\sim 10^{-8} \dots 10^{-6}$ N
- ▶ Constant Height: nur bei ebenen Flächen möglich, sonst Zerstörung der Spitze, direkte Aussage über Topographie, schnell
- ▶ Constant Force: auch bei größeren Stufen möglich, langsam, durch Verzögerung des Regelkreises begrenzt, häufigste Anwendung

Contact-Mode

- ▶ Cantilever mit hoher Federkonstante
- ▶ Anziehende Kräfte um $\sim 10^{-8} \dots 10^{-6}$ N
- ▶ Constant Height: nur bei ebenen Flächen möglich, sonst Zerstörung der Spitze, direkte Aussage über Topographie, schnell
- ▶ Constant Force: auch bei größeren Stufen möglich, langsam, durch Verzögerung des Regelkreises begrenzt, häufigste Anwendung
- ▶ Veränderung oder gar Zerstörung der Oberfläche möglich, Kapillarkräfte durch Flüssigkeitsfilme treten auf, keine atomare Auflösung

Non-Contact-Mode

- ▶ Cantilever mit geringerer Federkonstante
- ▶ Abstoßende Kräfte um $\sim 10^{-12}$ N

Non-Contact-Mode

- ▶ Cantilever mit geringerer Federkonstante
- ▶ Abstoßende Kräfte um $\sim 10^{-12}$ N
- ▶ mit Eigenfrequenz schwingender Cantilever misst Veränderungen der Amplitude oder Frequenz

Non-Contact-Mode

- ▶ Cantilever mit geringerer Federkonstante
- ▶ Abstoßende Kräfte um $\sim 10^{-12}$ N
- ▶ mit Eigenfrequenz schwingender Cantilever misst Veränderungen der Amplitude oder Frequenz
- ▶ Keine Veränderung der Oberfläche, aber mögliche Verfälschung durch Flüssigkeitsfilme/-Tropfen
- ▶ Empfindlicher Verstärker notwendig, Rauschen
- ▶ Bevorzugt gegenüber contact-mode

Semi-Contact-Mode

- ▶ Mit Eigenfrequenz schwingender Cantilever wie im non-contact-mode
- ▶ Operation im Potential-Tal, d.h. kurzes Antippen der Oberfläche

Semi-Contact-Mode

- ▶ Mit Eigenfrequenz schwingender Cantilever wie im non-contact-mode
- ▶ Operation im Potential-Tal, d.h. kurzes Antippen der Oberfläche
- ▶ Beschädigung der Probe weniger wahrscheinlich

Semi-Contact-Mode

- ▶ Mit Eigenfrequenz schwingender Cantilever wie im non-contact-mode
- ▶ Operation im Potential-Tal, d.h. kurzes Antippen der Oberfläche
- ▶ Beschädigung der Probe weniger wahrscheinlich
- ▶ größere Höhenunterschiede auflösbar, größere Scan-Bereiche möglich
- ▶ keine Lateralkräfte durch Reibung

Zusammenfassung

| Methode | Geschwindigkeit | Einfluss auf Probe | Flüssigkeit |
|---------------|-----------------|--------------------|-------------|
| contact (c.h) | schnell | sehr stark | nein |
| contact (c.f) | langsam | stark | nein |
| non-contact | langsam | nein | ja |
| semi-contact | langsam | minimal | nein |

semi-contact: Vorteile beider Verfahren

Dynamische Kraftspektroskopie

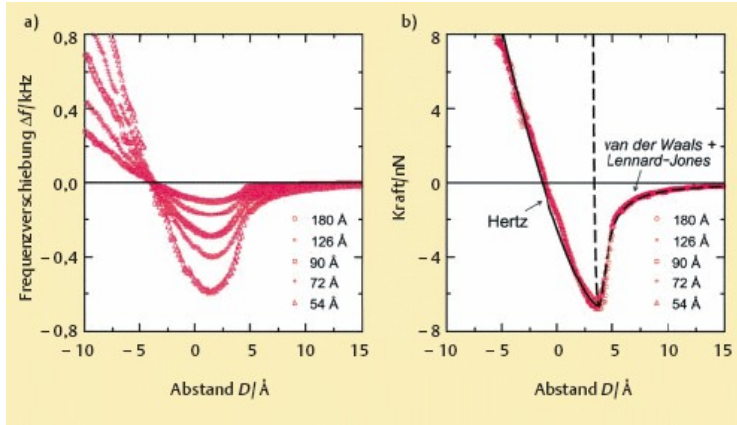
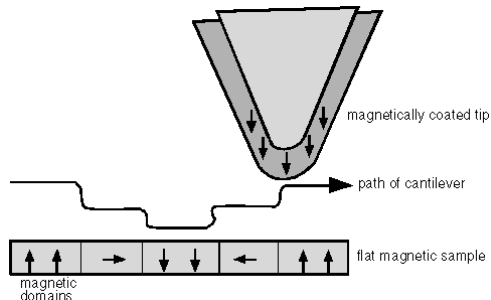


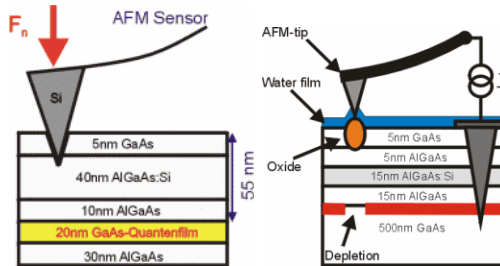
Abbildung: Kraft-Abstand durch Variation des Probe-Spitze-Abstandes

MFM - Magnetic Force Microscopy

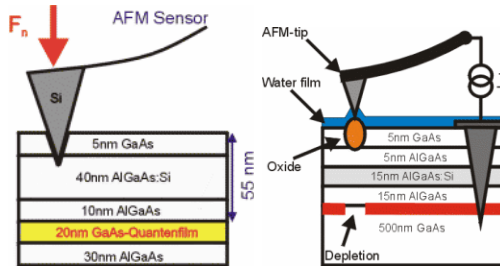


Ferromagnetisch beschichtete Spitzen im non-contact-modus.
Auflösung: Elektronenspins von einigen Atomen.

Nanolithographie mit dem AFM

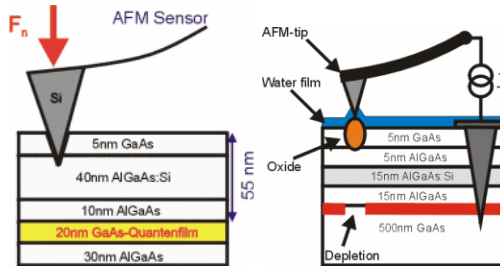


Nanolithographie mit dem AFM



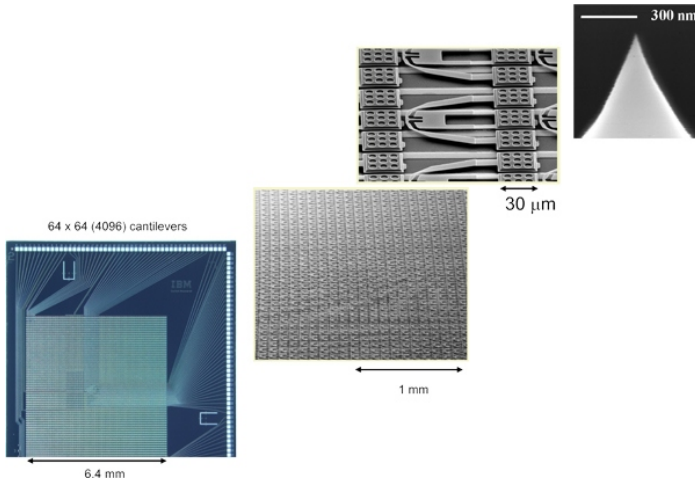
- ▶ Im contact-mode Kräfte im mN-Bereich (Nanogravur)

Nanolithographie mit dem AFM

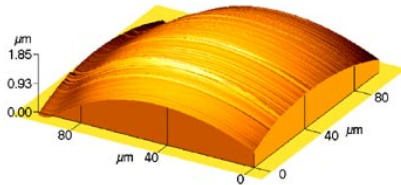


- ▶ Im contact-mode Kräfte im mN-Bereich (Nanogravur)
- ▶ neg. U an leitfähiger Spitze läßt Sauerstoff in Probe diffundieren (lokale Oxidation)

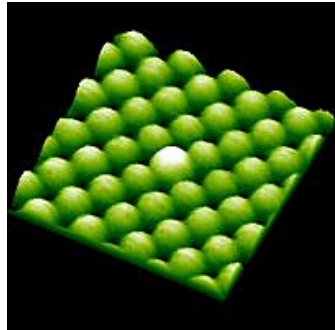
Das Millipede-Projekt von IBM



Aufnahmen von einem AFM

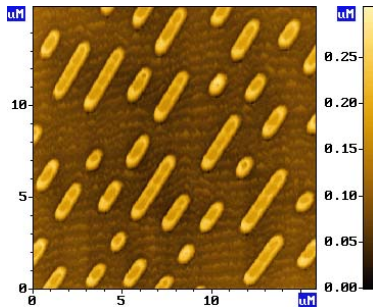


(g) Dijodmethan-Tropfen unter Wasser

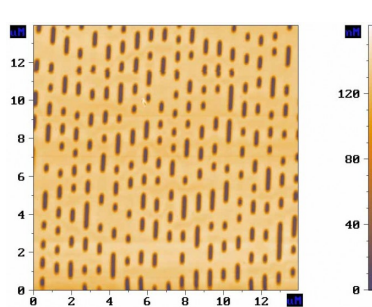


(h) NiO mit Fremdatom

Aufnahmen von einem AFM

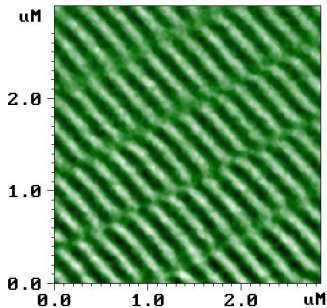


(i) Oberfläche einer CD

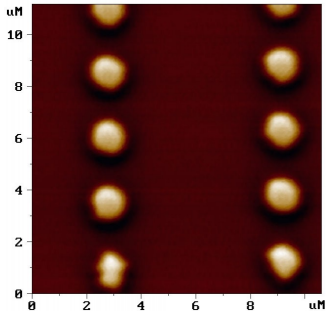


(j) Oberfläche einer DVD

Aufnahmen von einem MFM



(k) 40GB-Festplatte



(l) Magneto-Optische Disk

Aufnahmen von einem MFM

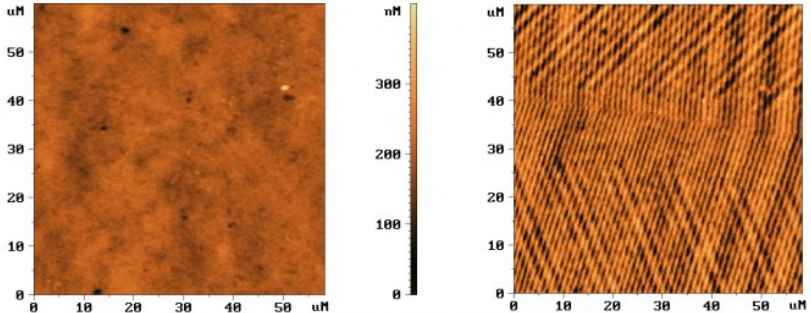


Abbildung: Topographie und Magnetisierung eines Videobandes

Möglichkeiten der Nanolithographie

