

# Scanning tunneling microscoop (STM)

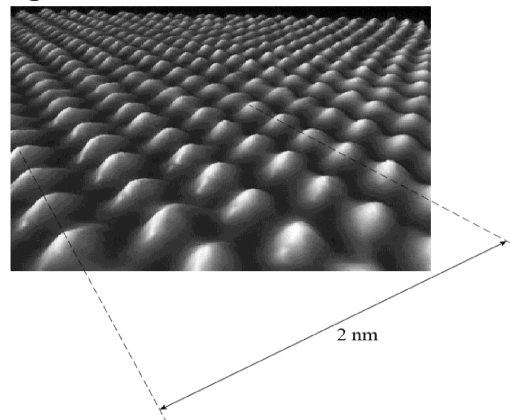
Lees onderstaand artikel

Scanning tunneling microscopie (STM) is een techniek waarmee men op atomaire schaal een hoogtekaart van een metaaloppervlak kan maken. Men gebruikt een geleidende, scherpe naald waarvan de punt uit slechts enkele atomen bestaat. Tussen de naald en het metaaloppervlak legt men een kleine spanning aan.

Als de naald dicht genoeg bij het oppervlak komt, worden er met het quantum-tunneleffect voldoende elektronen uit het metaal ‘gezogen’ om een stroomsterkte te kunnen meten. Anders dan bij een grammofoonplaat raakt de naald het oppervlak dus *nèt* niet, maar tast het oppervlak af. Het door de STM waargenomen hoogtereliëf in figuur 1 is in werkelijkheid niet groter dan 0,025 nm.

De STM is rond 1980 ontwikkeld door Gerd Binnig en Heinrich Rohrer van de IBM-onderzoekslaboratoria in Zurich, die daar in 1986 de Nobelprijs voor kregen. Door de directe blik op de buitenste atoomlagen van metalen en andere materialen heeft de STM de ontwikkeling van de nanotechnologie enorm versneld.

figuur 1



De afstand  $d$  tussen de STM-naald en het te scannen oppervlak is heel klein, in de orde van 1 nm.

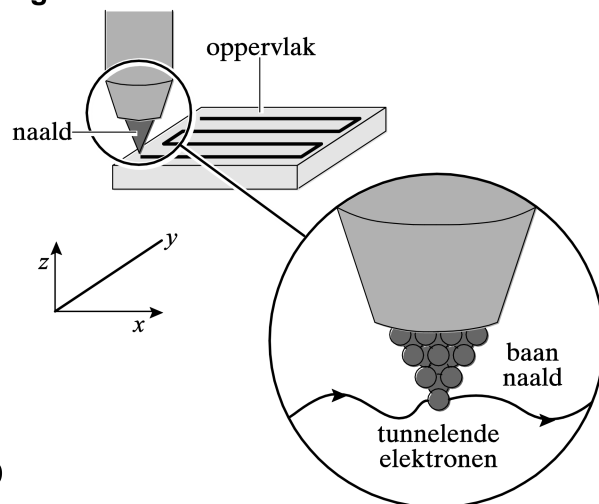
Het oppervlak wordt gescand in de  $x$ - en  $y$ -richting. Het hoogtereliëf staat in de  $z$ -richting. Zie figuur 2. Dit levert STM-beelden op als in figuur 1.

Het beeld in figuur 1 is in de  $z$ -richting met een factor vergroot ten opzichte van de  $x$ - en  $y$ -richting.

Hieronder staan vier ordes van grootte van die factor.

- a 0,01   b 0,1   c 10   d 100

figuur 2



- 3p 30 Bepaal welke van de bovenstaande waarden de orde van grootte van de factor is.

De tunnelstroom  $I_t$  is zeer gevoelig voor de afstand  $d$  tussen de naald en het oppervlak. Hiervoor geldt de volgende vuistregel:

*Als  $d$  met 0,1 nm toeneemt, wordt  $I_t$  een factor 10 kleiner.*

De tunnelstroom wordt  $I_t$  constant gehouden. Dit gebeurt door de afstand  $d$  aan te passen. Zie figuur 2. Hierdoor kan de naald op en neer gaan tijdens het scannen.

De naald beweegt van een plaats tussen twee atomen in, naar een plaats recht boven een atoom.

2p 31 Leg uit wat er dan gebeurt met de afstand  $d$ .

Bij een afstand  $d = 1,0$  nm meet men:  $I_t = 2,0$  nA.

2p 32 Bereken  $I_t$  bij  $d = 1,5$  nm.

1p 33 Waarom moet de STM volledig trillingsvrij worden opgesteld?

Het tunneleffect is het gevolg van het golfkarakter van de elektronen, zoals uitgedrukt in de deBroglie-golflengte  $\lambda_B$ .

Bij een temperatuur  $T$  (in K) geldt:  $\lambda_B = \frac{7,45 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{T}}$ .

2p 34 Beantwoord de volgende vragen:

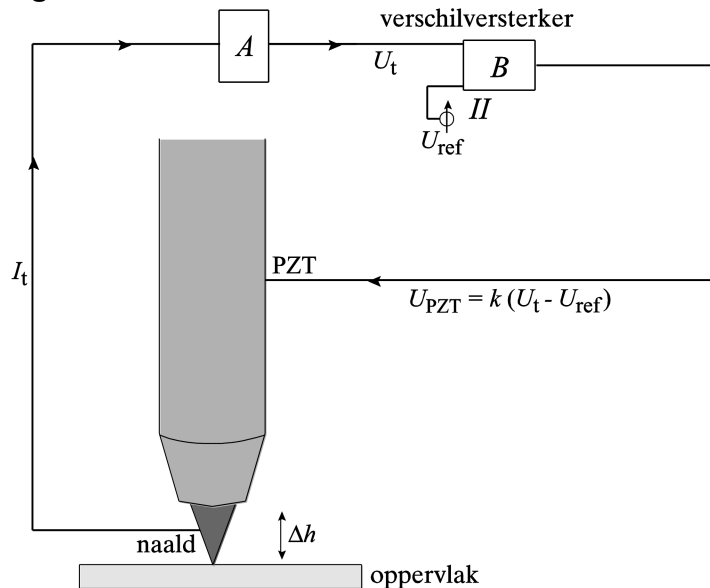
- Bereken  $\lambda_B$  van de geleidingselektronen in het metaal bij kamertemperatuur.
- Leg uit waarom er geen tunneleffect optreedt als  $d$  veel groter is dan  $\lambda_B$ .

Om de tunnelstroom  $I_t$  tussen de naald en het oppervlak constant te houden, gebruikt men een elektrische schakeling waarmee men  $d$  continu kan aanpassen. Hiervoor gebruikt men een piëzo-elektrisch kristal (PZT). Dit is een kristal dat onder invloed van een elektrische spanning langer of korter kan worden.

De tunnelstroom  $I_t$  (in de orde van nA) wordt eerst door versterker  $A$  omgezet in een spanning  $U_t$  (recht evenredig met  $I_t$ ).

In de verschilversterker  $B$  wordt van  $U_t$  een referentiespanning  $U_{\text{ref}}$  afgetrokken, waarna het verschil wordt vermenigvuldigd met een factor  $k$  en gebruikt om het PZT-element aan te sturen. Zie figuur 3.

**figuur 3**



- 3p **35** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit wat de functie van de referentiespanning is.
  - Leg uit of het PZT-element bij een positieve waarde van  $U_{\text{PZT}}$  langer of korter wordt.
  - Leg uit waarom na de hoogtecorrectie weer moet gelden dat  $U_{\text{PZT}} = 0$ .

Onder normale omstandigheden zitten de elektronen opgesloten in het metaal: ze moeten een energie-barrière ter hoogte van de uittree-energie  $W_u$  overwinnen om te ontsnappen.

Het tunnelen wordt bevorderd door een kleine spanning tussen de naald en het oppervlak aan te brengen.

- 3p **36** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit of de spanning tussen de naald en het oppervlak een positieve of een negatieve waarde moet hebben.
  - Geef de reden waarom hierdoor het tunnelen wordt bevorderd.