

Moderni mikroskopi

Matekalo, Jelena

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:512963>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



JELENA MATEKALO
MODERNI MIKROSKOPI

Završni rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



JELENA MATEKALO
MODERNI MIKROSKOPI

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
radi stjecanja zvanja prvostupnice fizike.

Osijek, 2020.

“Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom doc.dr.sc. Denisa Stanića u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.,,

Sadržaj

Sažetak	1
Abstract.....	2
1. Uvod.....	3
2. Elektronski mikroskopi.....	4
2.1. Skenirajući elektronski mikroskop.....	4
2.1.1. Način rada	5
2.1.2. Priprema uzorka i okoline	7
2.2. Transmisijski elektronski mikroskop	8
2.2.1. Način rada	8
2.2.2. Priprema uzorka i okoline	9
3. Skenirajući tunelski mikroskop	10
3.1. Način rada	10
3.2. Priprema uzorka i okoline	12
4. Mikroskop atomskih sila	13
4.1. Način rada	14
4.1.1. Kontaktni režim.....	14
4.1.2. Režim isprekidanog kontakta.....	14
4.1.3. Beskontaktni režim	15
4.2. Priprema uzorka i okoline	18
5. Mikroskop magnetske sile	19
5.1. Način rada	20
5.2. Priprema uzorka i okoline	20
6. Galerija	21
7. Zaključak.....	23
8. Literatura.....	24
Životopis.....	27

MODERNI MIKROSKOPI

JELENA MATEKALO

Sažetak

Mikroskop je instrument koji nudi mogućnost promatranja predmeta koji nisu vidljivi golim okom, prikazujući njihovu uvećanu sliku. Počevši od povijesnog razvoja, preko prvog modernog mikroskopa dolazi se do osnovnih značajki modernih mikroskopa. Dvije najvažnije značajke su visoka rezolucija dobivene slike uzorka koja može iznositi 0,1 nm te povećanje do čak 10^6 puta. Ovaj rad baziran je na opisu načina rada pet modernih mikroskopa: SEM, TEM, STM, AFM i MFM. Među nabrojanim, prva dva su najznačajniji elektronski mikroskopi. Način rada mikroskopa prikazan je tako da se promatraju sastavnice mikroskopa, nakon čega je opisana uloga svake od njih. Također, obrađena su neka od svojstava materijala od kojih su izgrađene pojedine sastavnice. Naposljetku, moderni mikroskopi su vrlo osjetljivi na vanjske podražaje pa pažnju valja usmjeriti na adekvatnu pripremu okoline i uzorka. Svaki mikroskop zahtjeva specifičnu pripremu koja je opisana u ovom radu.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: mikroskop / elektron / uzorak / elektromagnetska leća / sonda

Mentor: doc.dr.sc. Denis Stanić

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

MODERN MICROSCOPES

JELENA MATEKALO

Abstract

A microscope is a scientific instrument used to observe objects invisible to naked eye by magnifying objects surface. Starting from the historical development and the first modern microscope, the basic features of modern microscopes come to light. Two important features are high-definition resolution of object's image which can be as small as 0.1 nm and magnified up to 10^6 times. This bachelor thesis is based on describing the principle of five modern microscopes: SEM, TEM, STM, AFM and MFM. Among the listed microscopes, first two are the most significant electron microscopes. Principle of the microscope is performed by observing the components and describing their purpose. Furthermore, there are described material properties of some components. Modern microscopes are delicate to outside stimuli so adequate environment and sample preparation is necessary. Each microscope requires specific preparation described in this bachelor thesis.

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: microscope / electron / electromagnetic lens / sonde

Supervisor: Denis Stanić, Ph.D

Reviewers:

Thesis accepted:

1. Uvod

Ideja o mogućnosti razvoja prvog modernog mikroskopa javila se 1920. godine. Iste je godine utvrđeno da ubrzani elektroni posjeduju valna svojstva, odnosno, valnu duljinu 100 000 puta manju no što je svjetlosna. Upravo to otkriće predstavljalo je temelj za razvoj modernih mikroskopa.

Njemački fizičar Ernst Ruska zaključio je da se ubrzani snop elektrona može, kao svjetlost, usmjeriti prema određenom objektu. Ta činjenica nagnala ga je da, godine 1931., izumi sustav koji usmjerava snop elektrona te je tako nastala prva elektromagnetska leća. Na temelju tih otkrića, dvije godine poslije, Ernst Ruska izumio je prvi transmisijski elektronski mikroskop (TEM), odnosno, prvi moderni mikroskop uopće. [1]

Prvi skenirajući elektronski mikroskop (SEM) izumio je Vladimir K. Zworykin 1942. godine, a prvi mikroskop atomskih sila (AFM) Gerd Binnig 1986. godine. [2, 3]

Danas je moderna mikroskopija vrlo rasprostranjena metoda analiziranja materijala. Ova vrsta mikroskopa pruža informacije o veličini, obliku, kemijskom sastavu, kristalnoj strukturi, magnetskim svojstvima te tvrdoći uzorka. Ponajprije je važno istaknuti široku primjenu koju su pronašli u nanoznanosti.

2. Elektronski mikroskopi

Elektronski mikroskopi su uređaji koji pomoću visokoenergetskog snopa elektrona pružaju informacije o strukturi uzorka. Ubrzani elektroni u elektronskom mikroskopu, po uzoru na svjetlost u svjetlosnom, imaju valno-čestična svojstva. Valna duljina svjetlosti iznosi nekoliko stotina nanometara dok je kod elektrona ona 10^5 puta manja. Dakle, valna duljina elektrona reda je veličine 10^{-12} m. Prema Rayleighovu kriteriju razlučivosti, razlučivost je obrnuto razmjerna valnoj duljini. Drugim riječima, manja valna duljina omogućava mikroskopima veću razlučivost.

Kao što je ranije napomenuto, elektronski mikroskopi najčešće su korišteni u nanoznanosti. Primjerice, nanočestica zlata reda je veličine 10^{-9} m, što znači da je za proučavanje takvih čestica potreban upravo elektronski mikroskop, koji ima moć povećanja od 10^6 puta.

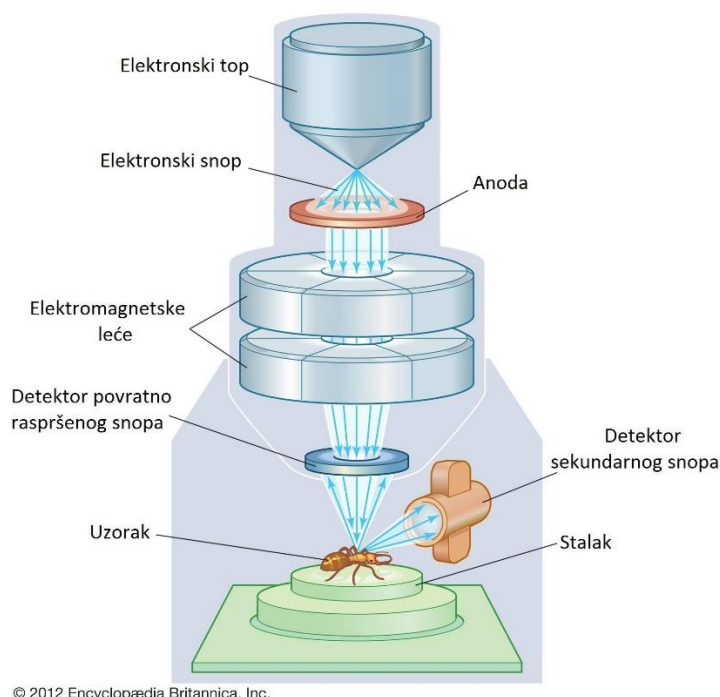
Današnji elektronski mikroskopi podijeljeni su u dvije osnovne skupine: skenirajući elektronski mikroskop (SEM) i transmisijski elektronski mikroskop (TEM). [4]

2.1. Skenirajući elektronski mikroskop

Skenirajući (pretražni) elektronski mikroskop (*engl. Scanning electron microscope*) akronima SEM služi za dobivanje realne trodimenzionalne slike površine promatranog uzorka. Njegov način rada temelji se na korištenju elektromagnetskih leća za fokusiranje snopa elektrona. Elektronski snop potom pogađa promatrani uzorak te tako pruža informacije o površini uzorka. Razlučivost konačne slike ovisi o veličini fokusirane točke, tj. elektronskog snopa. Što je elektronski snop manji, to pogađa manju površinu uzorka i daje precizniju sliku. Razlučivost SEM-a reda je veličine 10^{-8} m. [5]

Osnovni dijelovi skenirajućeg elektronskog mikroskopa su:

- Elektronski top
- Elektromagnetske leće
- Zavojnica za skretanje (zadnja elektromagnetska leća)
- Detektori



Slika 1: Shematski prikaz SEM-a [16]

2.1.1. Način rada

Izvor elektrona SEM-a je volframova nit. Kada kroz volframovu nit teče električna struja, električna energija prelazi u toplinsku i nit se zagrijava. Zagrijavanjem niti se dijelu valentnih (slobodnih) elektrona povećava kinetička energija koja je dovoljnog iznosa da elektroni postignu brzinu oslobađanja. Valentni elektroni su tada izbijeni iz niti te se ta pojava naziva termoelektronska emisija. Jednom kada su elektroni izbijeni iz volframove niti, oni se pod utjecajem visokog napona ubrzavaju prema anodi mikroskopa. Opisani sustav sastavnica zove se elektronski top. Način na koji elektron ubrzava u elektronskom topu nije ništa drugo do gibanje elektrona među elektrodama.

Napon koji se koristi u SEM-u iznosi oko 30 000 V. Za proučavanje same površine, oblika ili veličine uzorka koristi se manji napon kako elektron ne bi prodro u unutrašnjost uzorka. Suprotno tomu, kemijski sastav uzorka određuje se pod višim naponom.

Jednom kada elektroni izađu iz elektronskog topa, prolaze kroz sustav elektromagnetskih leća. Elektromagnetske leće su zapravo kružne petlje. Kada petljom teče električna struja, oko nje se stvara magnetsko polje. Ubrzani elektroni nailaze na magnetsko polje koje na njih djeluje Lorentzovom silom. Lorentzova sila djeluje na elektrone na način da im mijenja putanju

gibanja i usmjerava ih u jednu točku. Drugim riječima, elektronski snop postepeno se sužava. Elektromagnetske leće zbog toga imaju ulogu kondenzatora.

Razlučivost rezultatne slike ovisi o broju elektromagnetskih leća u mikroskopu. Veći broj leća rezultira užim snopom elektrona koji pogađa promatrani uzorak samim tim povećavajući rezoluciju konačne slike uzorka. Većina skenirajućih elektronskih mikroskopa sadrže dvije elektromagnetske leće.

Nakon što elektroni prođu kroz sustav leća, netom nakon kontakta s uzorkom, nailaze na zavojnicu za skretanje kojom teče električna struja. Mijenjajući jakost električne struje u zavojnici, oko nje se stvara magnetsko polje koje pomiče i usmjerava snop elektrona u proizvoljnu promatranu točku na uzorku. Mijenjajući tako fokus snopa, elektroni mijenjaju svoj položaj na promatranom uzorku. Tanki elektronski snop prelazi preko površine uzorka, skenira ga te prikuplja podatke o najmanjem elementu kojeg prekrije. Zavojnica za skretanje zadnja je elektromagnetska leća kroz koju snop elektrona prolazi.

Postoji više različitih signala koji tvore konačnu sliku uzorka. Različiti signali dolaze iz različitog izvora snopa elektrona. Jedan od signala dolazi od primarnog snopa elektrona, koji pada na uzorak te se odbije o njegovu atomsku jezgru. Takvi elektroni nazivaju se povratno raspršeni elektroni. Dio mikroskopa koji detektira povratno raspršene elektrone naziva se detektor povratno raspršenog snopa elektrona. Važno je dodati da takvi elektroni posjeduju veliku kinetičku energiju iznosa oko 5 keV.

Sekundarni elektroni nastaju međudjelovanjem primarnog snopa elektrona i uzorka. Navedeno međudjelovanje uzrokuje izbijanje elektrona iz vanjskog elektronskog omotača atoma uzorka. Takve elektrone uočava detektor sekundarnog snopa elektrona. Na slici 1 vidljiv je sekundarni snop elektrona.

Detektori šalju podatke računalu koje je spojeno s mikroskopom te je konačna slika prikazana na zaslonu računala. Slika uzorka je crno-bijela te je, ako je detektiran veći broj elektrona, svjetlija i jasnija. Svjetlina piksela slike ovisi o jačini signala kojeg računalo primi od detektora. Jačina signala određena je te razmjerna težinama atoma uzorka. Jači signal rezultira svjetlijim i jasnijim tonom piksela slike. [7]



Slika 2: SEM [19]

2.1.2. Priprema uzorka i okoline

Elektroni su negativno nabijene čestice koje pogađaju uzorak velikom brzinom. Elektroni koji prvi pogode uzorak (koji nije vodič te ima vrlo malo slobodnih elektrona), elektriziraju ga. Uzorak postaje pozitivno ili negativno nabijen, ovisno o vrsti materijala. Istoimeni naboji se odbijaju te se prema tome negativno nabijen uzorak i snop elektrona odbijaju. U tom slučaju elektroni ne dolaze do površine te više ne prenose podatke o uzorku. Slika dobivena detekcijom takvih elektrona deformirana je i predstavlja realan prikaz površine uzorka. Zbog privlačnosti raznoimenih naboja slično će se dogoditi ako je uzorak pozitivno nabijen. Kako bi se izbjegao opisani problem, izolatori se prekriju tankim slojem vodljivog materijala, najčešće zlata.

Tekućine nisu dobar odabir uzorka za promatranje SEM-om. One se u vakuumu raspršuju po stjenkama mikroskopa te ga kontaminiraju.

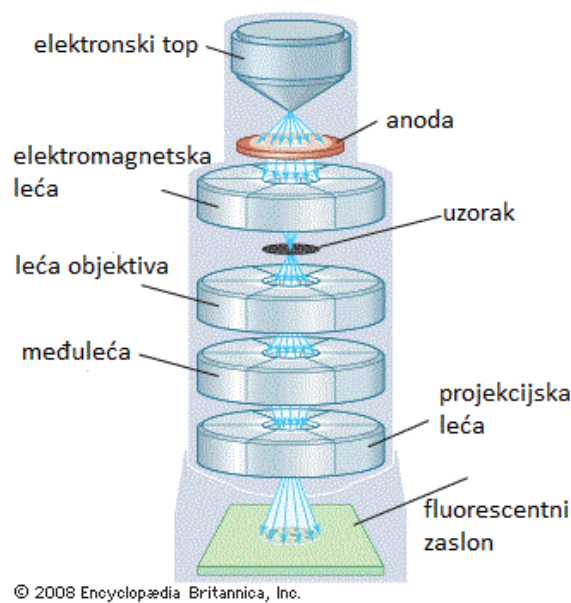
Komora SEM-a ispunjena je vakuumom kako se elektroni ne bi sudarali s česticama zraka te se tako raspršili po cijeloj komori. [6]

2.2. Transmisijski elektronski mikroskop

Transmisijski elektronski mikroskop (*engl. Transmission Electron Microscope - TEM*) za razliku od SEM-a, služi za proučavanje kristalne strukture i morfologije uzorka. Ubrzani elektroni probiju se kroz tanki sloj uzorka, nakon čega prolaze kroz tri specifične elektromagnetske leće. Naposljetku, široki snop elektrona pogađa fluorescentni zaslon.

Osnovni dijelovi transmisijskog elektronskog mikroskopa:

- Elektronski top
- Elektromagnetske leće
- Fluorescentni zaslon



Slika 3: Shematski prikaz TEM-a [16]



Slika 4: TEM [20]

2.2.1. Način rada

Izvor ubrzanih elektrona je, kao kod SEM-a, elektronski top. Napon koji se koristi da bi se ubrzao snop elektrona desetak puta je veći od onoga koji se koristi u SEM-u te je iznosa oko

300 000 V. Veći napon koristi se zbog toga što elektroni trebaju imati dovoljno veliku brzinu, kako bi prošli kroz tanki sloj uzorka.

Izlaskom iz elektronskog topa, snop elektrona nailazi na prvu elektromagnetsku leću. Prva leća fokusira snop elektrona prema uzorku. Rezolucija slike razmjerna je veličini elektronskog snopa koji pogodi uzorak. Naposljetku, uobičajena rezolucija TEM-a je oko 1 nm te povećanje do 10^6 puta.

Dio primarnog snopa elektrona pogotkom uzorka raspršuje se zbog međudjelovanja s jezgrama atoma uzorka, dok dio prolazi kroz tanki sloj uzorka. Elektroni koji su prošli kroz uzorak tvore neraspršeni snop elektrona i nailaze na, promatrajući mikroskop odozgo prema dolje, drugu leću. Ta leća naziva se leća objektivna. Leća objektivna elektromagnetska je leća čija je uloga usmjeravanje snopa neraspršenih elektrona. Prolaskom kroz leću objektivna, snop nailazi na međuleću te naposljetku na projekcijsku leću, koje su elektromagnetske leće. Međuleća, kao i leća objektivna, služi za fokusiranje snopa neraspršenih elektrona, dok projekcijska leća služi za povećavanje te projiciranje snopa neraspršenih elektrona na fluorescentni zaslon.

Fluorescentni zaslon zasvijetli u točki pogođenoj elektronom te rezultirajući skup točaka sačinjava konačnu sliku. Crno-bijela slika prikazuje se na zaslonu računala na koje je spojen TEM. Gušći i deblji dijelovi uzorka uzrokuju tamnije dijelove slike, budući da elektroni ne prolaze kroz njih te u tom području fluorescentni zaslon ostaje netaknut. [8]

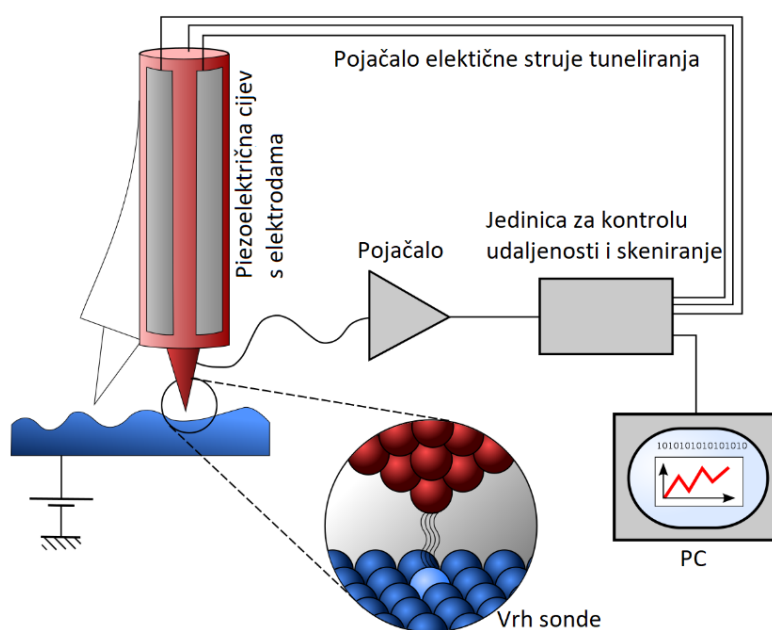
2.2.2. Priprema uzorka i okoline

Priprema uzorka za analizu TEM-om jedna je od najzahtjevnijih priprema u modernoj mikroskopiji. Potrebno je izdvojiti dovoljno tanak sloj uzorka kako bi kroz njega mogli proći elektroni. Debljina uzorka najčešće iznosi svega nekoliko nanometara. Također, treba obratiti pažnju na naboj uzorka. [9]

3. Skenirajući tunelski mikroskop

Skenirajući tunelski mikroskop (*engl. Scanning Tunneling Microscope - STM*) vrsta je modernog mikroskopa koji se koristi za dobivanje slike atomske rezolucije površine metala. Specifičnost koja karakterizira STM jest tuneliranje elektrona s uzorka prema sondi mikroskopa. Njegovi osnovni dijelovi su:

- Piezoelektrična cijev
- Elektrode
- Sonda

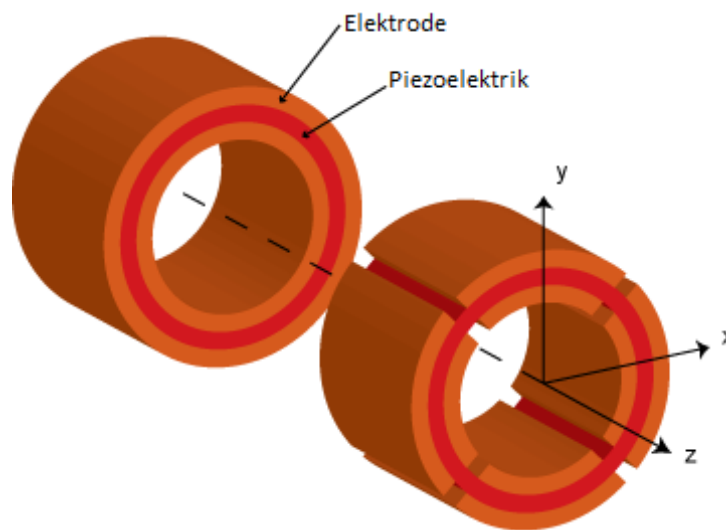


Slika 5: Shematski prikaz STM-a [17]

3.1. Način rada

Analiza unutar STM-a započinje tako što piezoelektrična cijev pomiče šiljasti vrh sonde, nalik igli, koji prelazi preko površine uzorka. Šiljasti vrh načinjen je od vodljivog materijala te udaljenost između uzorka i vrha iznosi od 1 do 10 nm. Kada je udaljenost između vrha i uzorka tako mala, pod utjecajem prethodno definiranog napona tuneliranja, dolazi do tuneliranja elektrona s uzorka prema vrhu sonde. Između vrha i uzorka javlja se električna struja čiji iznos je zabilježen preko vrha sonde te proslijeđen pojačalu električne tuje. Tako pojačani signal obrađuje se, a konačna slika vidljiva je na zaslonu računala. Slika 5 prikazuje princip rada STM-a.

Piezoelektrična cijev načinjena je od piezoelektričnih kristala koji se deformiraju pod utjecajem električnog napona. Cijev je obavijena elektrodama čiji je napon određen iznosom električne struje tuneliranja. Napon trenutnim povratnim signalom dolazi do elektroda koje uzrokuju stezanje ili širenje cijevi. Na taj način se vrh sonde pomiče prema reljefu površine uzorka (gore-dolje). Slika 6 prikazuje širenje piezoelektrične cijevi.



Slika 6: Shematski prikaz piezoelektrične cijevi [18]

Postoje dva režima rada STM-a:

- Prvi od njih temelji se na održavanju konstantne udaljenosti vrha sonde od uzorka. U ovom režimu mijenja se električna struja tuneliranja. Na temelju detektirane električne struje tuneliranja konstruira se topografska slika uzorka.
- Drugi režim rada temelji se na održavanju konstantne električne struje tuneliranja. Pomoću piezoelektrične cijevi vrh sonde prelazi reljefom uzorka te struju održava konstantnom. Ovaj način također pruža topografsku sliku uzorka.



Slika 7: STM [22]

3.2. Priprema uzorka i okoline

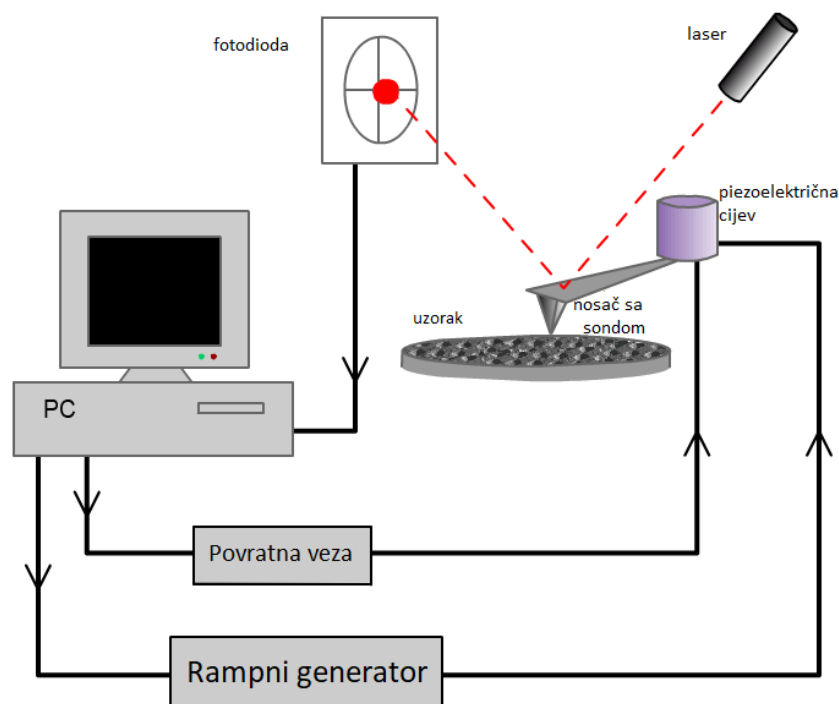
Sonda STM-a vrlo je osjetljiva, zbog čega ju je potrebno izolirati od vanjskih podražaja. Vanjski podražaji, poput mehaničkih vibracija, uzrokuju pomicanje vrha sonde neovisno o električnoj stuji tuneliranja. Tako dobivena trodimenzionalna slika, vidljiva na zaslonu računala, nije vjerni prikaz površine metala na atomskoj razini. Kako bi se spriječio prijenos vibracija, u unutrašnjosti STM-a se nalazi vakuum. [10]

4. Mikroskop atomskih sila

Mikroskop atomskih sila (*engl. Atomic Force Microscope - AFM*) služi za dobivanje topografske slike uzorka. Najznačajnija karakteristika je da se mjeri atomska sila između vrha sonde mikroskopa i uzorka. [11]

Osnovni dijelovi mikroskopa atomskih sila su:

- Sonda
- Nosač sonde
- Laser
- Fotodiodni detektor
- Piezoelektrična cijev
- Elektrode



Slika 8: Shematski prikaz AFM-a [18]

4.1. Način rada

Vrh sonde, koji je obično izrađen od silicija, nalazi se na nosaču mikroskopa koji možemo zamisliti kao oprugu. Iznos sile kojom vrh sonde međudjeluje s uzorkom može se opisati Hooke-ovim zakonom:

$$F = -kx$$

gdje je “ k ” konstanta opruge, a “ x ” otklon opruge od ravnotežnog položaja. Ako je konstanta opruge poznata i iznosi oko 1 N/m tada se iz pomaka vrha, odnosno opruge, izračunava sila.

Mjerena sila zapravo je Van der Waals-ova sila. Ona je privlačna kada vrh i uzorak nisu u kontaktu te odbojna kada se dodiruju. Njezin iznos je u pravilu između 10^{-6} i 10^{-9} N.

Skeniranje površine uzorka vrhom sonde odvija se kao u STM-u. Piezoelektrična cijev obavijena je elektrodama na koju je spojen nosač sonde. Pomak nosača mjeri se pomoću lasera i diode, pri čemu je laserska zraka uperena prema nosaču od kojeg se odbija prema fotodiodnom detektoru. Kako se vrh pomiče duž uzorka, detektor bilježi pomak nosača. Napon generiran u detektoru trenutnim povratnim signalom dolazi do piezoelektrične cijevi. Pomoću tako detektiranih pomaka nosača konstruirana je topografska slika uzorka. U nastavku su navedena tri osnovna režima rada AFM-a. Slika 8 prikazuje način rada AFM-a.

4.1.1. Kontaktni režim

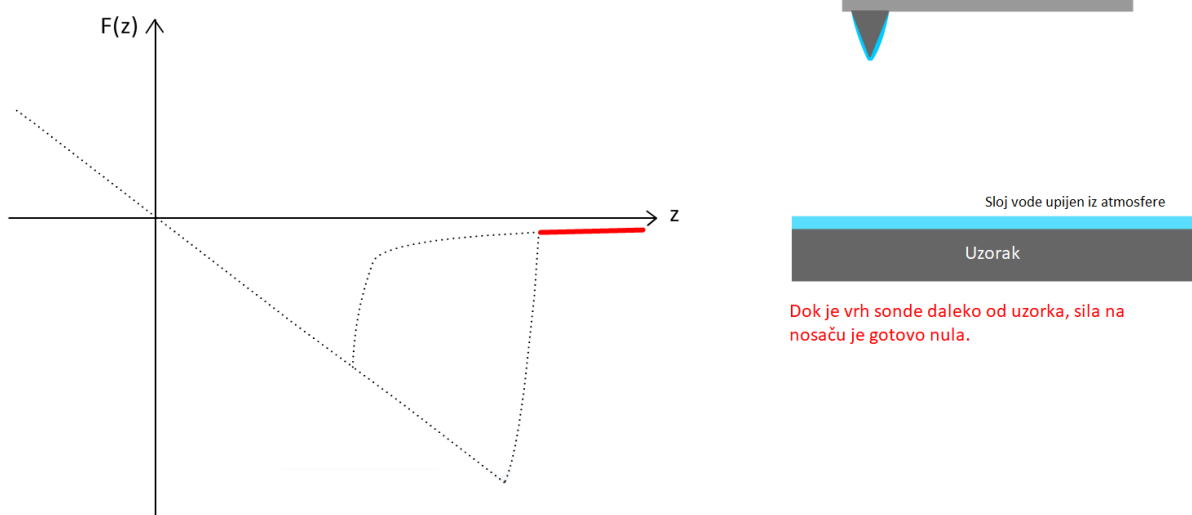
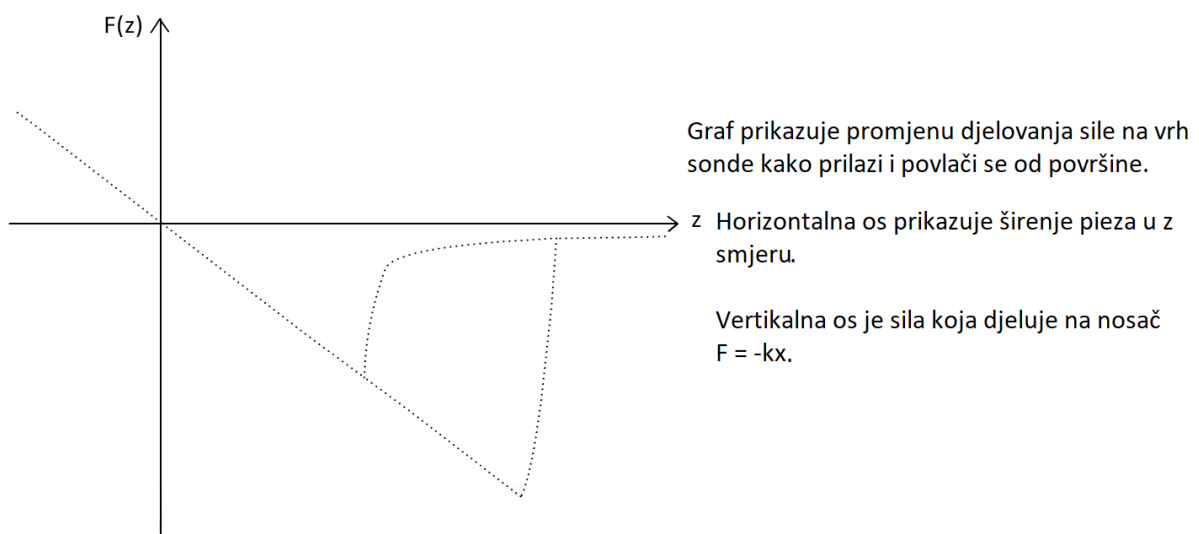
U kontaktnom režimu vrh sonde dodiruje uzorak te je u tom slučaju sila odbojna. Površina uzorka obložena je tankim filmom tekućine koja dolazi iz okolnog zraka. Sila adhezije uzrokuje da se vrh sonde ne odvoji od uzorka te se kontakt održava konstantnim pomoću piezoelektričnih kristala (sila je konstantnog iznosa). Prateći pomak nosača, dobiva se konačna slika površine uzorka.

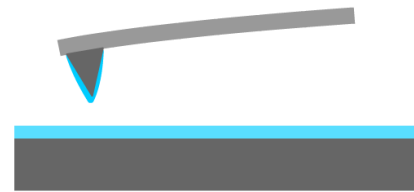
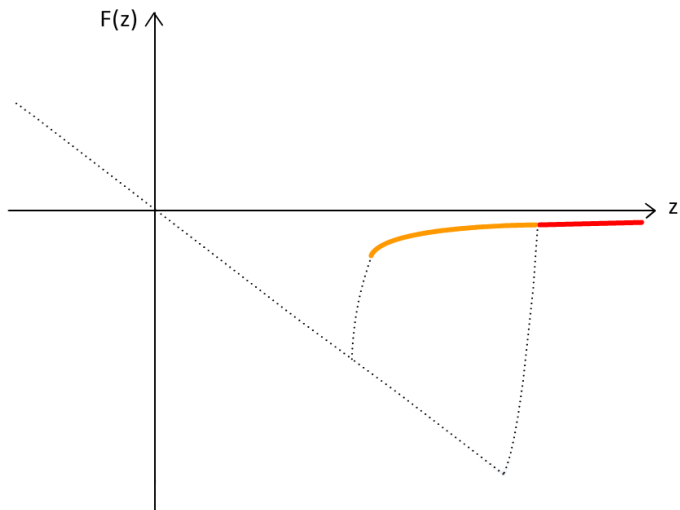
4.1.2. Režim isprekidanog kontakta

U režimu isprekidanog kontakta vrh sonde dodiruje uzorak te se zbog odbojne sile odbija od njega. Nakon što se vrh odbije od uzorka, sila postaje privlačna. Sonda u ovom slučaju titra određenom frekvencijom. Zabilježava se konstantna amplituda titranja te se na temelju toga konstruira slika površine.

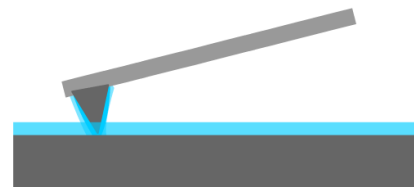
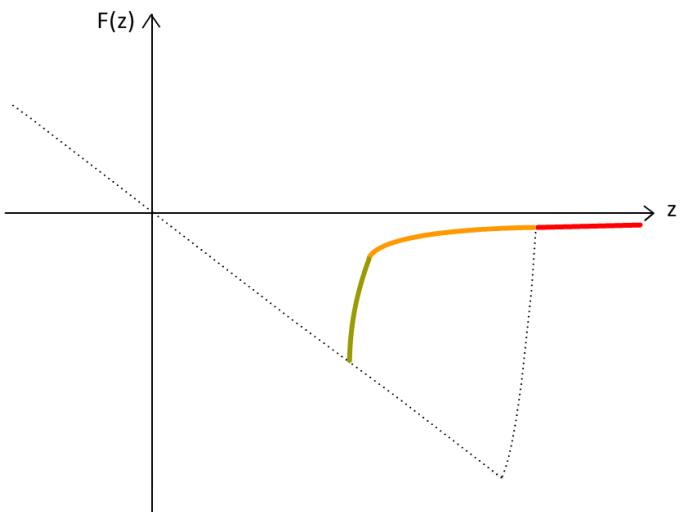
4.1.3. Beskontaktni režim

U beskontaktnom režimu razmak između vrha sonde i uzorka iznosi od 0.1 do 10 nm. Sila je privlačna, ali nije konstantnog iznosa. Kako oscilira privlačna sila između šiljka i uzorka, tako se ilježi pomak nosača te se generira konačna slika. [12]

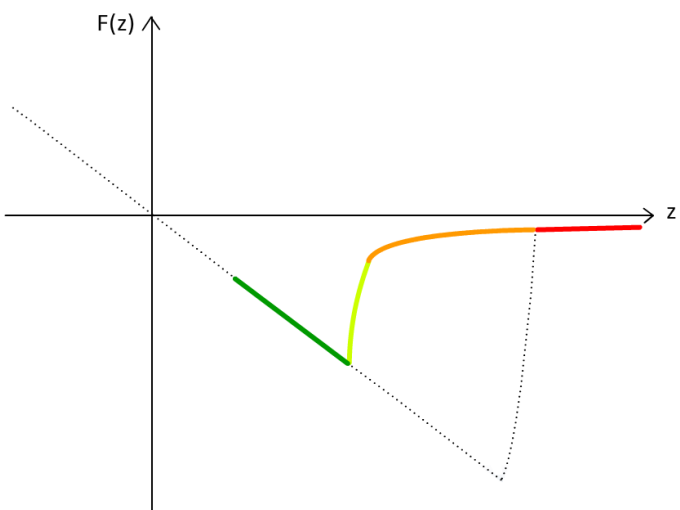




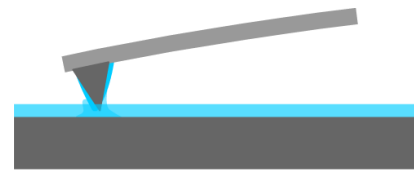
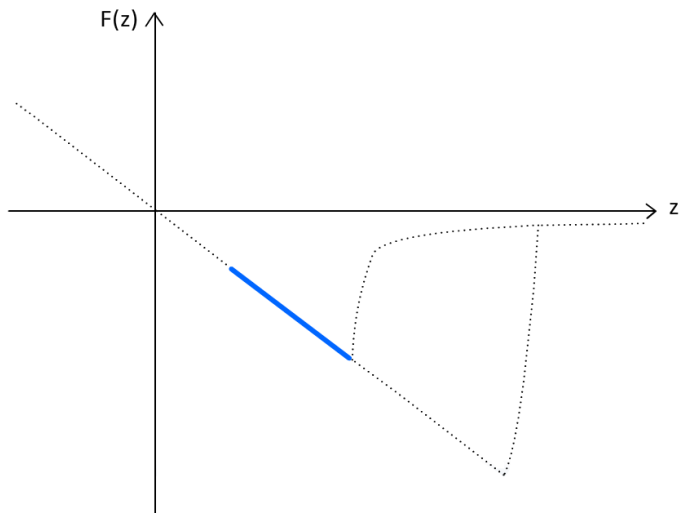
Kako se vrh približava uzorku, nosač se savija prema uzorku zbog privčanih Van der Waals-ovih sila.



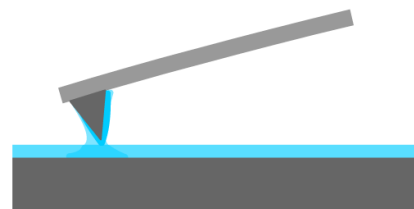
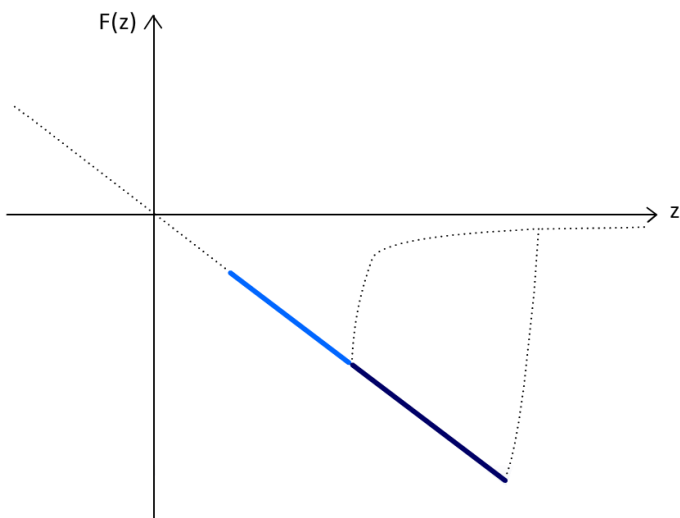
Vrh sonde se hvata na uzorak, što zovemo "skok u kontakt" i događa se kad dF/dz prekorači konstantu opruge nosača.



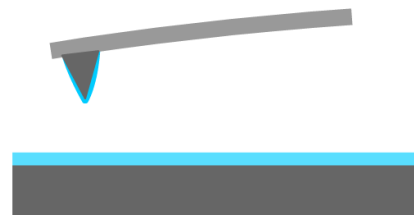
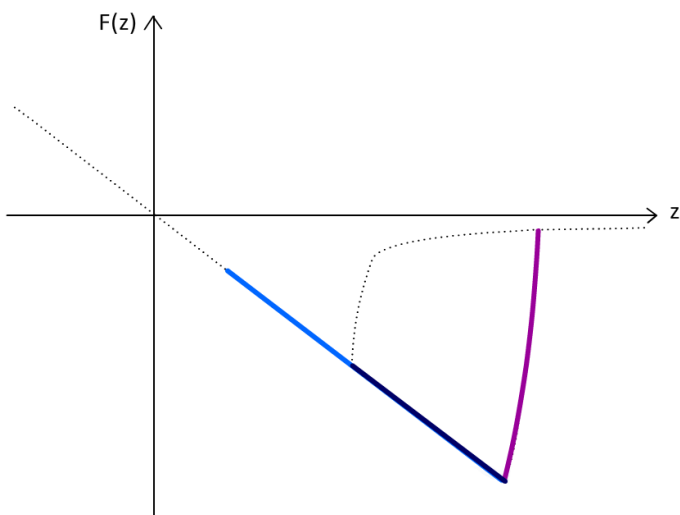
Nakon kontakta, odbojne sile uzrokuju pozitivan otklon nosača. U tom području elastična svojstva uzorka se mogu mjeriti.



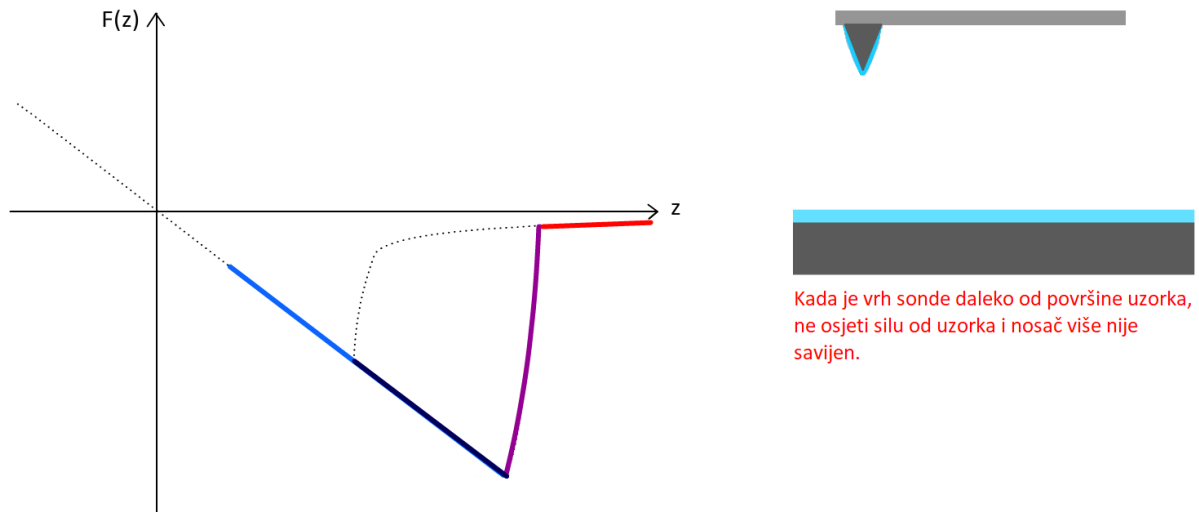
Tijekom povlačenja, nosač slijedi putanju opisanu tijekom prilaza.



U okolnom zraku, tekući film apsorbiran na uzorku i vrhu tvorit će meniskus tijekom povlačenja s velikom površinskom energijom. Stoga adhezija između vrha i uzorka sprječava odvajanje.



Vrh sonde konačno savlada adheziju i skoči s površine uzorka.



Slika 9: Sustav slika – međudjelovanje vrha sonde i uzorka [23]

Slika 9, tj. sustav slika prikazuje međudjelovanje vrha sonde i uzorka. Slika prikazuje kako se mijenja Van der Waals-ova sila pri prijelazu iz kontaktnog u beskontaktni režim. Također, sustav slika prikazuje kakav utjecaj ima sila adhezije na kontakt sonde i uzorka.

4.2. Priprema uzorka i okoline

AFM ne zahtjeva pripremu uzorka kao što je to slučaj kod elektronskih mikroskopa. Bitno je da se mikroskop izolira od vanjskih vibracija. [13]

5. Mikroskop magnetske sile

Mikroskop magnetske sile (*engl. Magnetic Force Microscope - MFM*) vrsta je AFM-a i služi za analizu topografije te prikaz magnetskih svojstava uzorka. Način rada MFM-a temeljen je na magnetskom međudjelovanju uzorka i magnetske sonde. [15]

Osnovni dijelovi mikroskopa magnetske sile:

- Magnetična sonda
- Nosač sonde
- Laser
- Fotodiodni detektor
- Piezoelektrična cijev
- Elektrode



Slika 10: MFM [21]

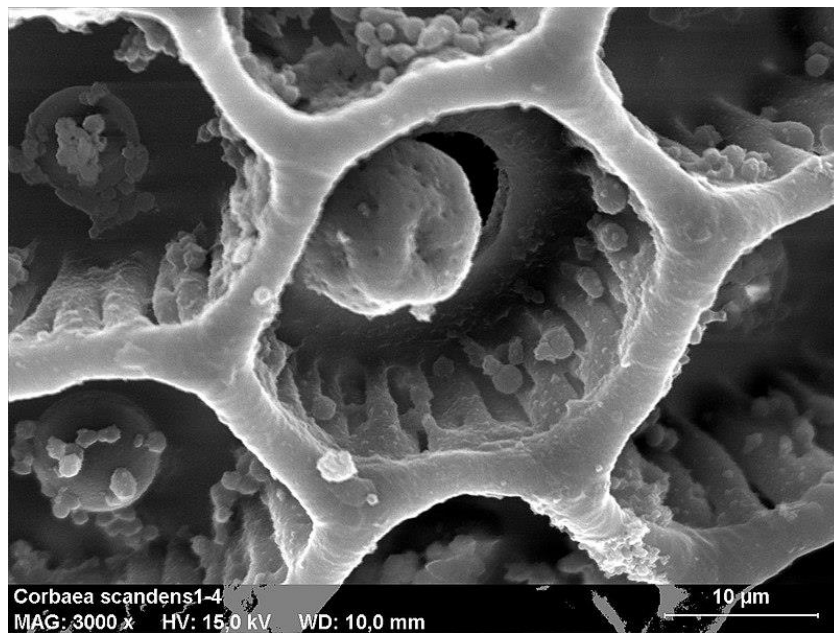
5.1. Način rada

Način rada MFM-a isti je kao kod AFM-a. Vrh sonde nalazi se na držaču i obložen je magnetnim filmom te na maloj udaljenosti prelazi preko ravnog uzorka. Razmak između vrha sonde i uzorka iznosi između 0.1 i 10 nm pa se na toj udaljenosti uočava utjecaj magnetske sile, koja je zaslužna za pomake sonde. Magnetski vrh, u ovisnosti o magnetskom polu djelića uzorka, približava se uzorku ili se odbija od njega. Promatraju se pomaci vrha sonde, tj. detektirana magnetska sila između vrha i uzorka, koja se potom prenosi do računala. Razlučivost slike dobivene MFM-om iznosi od 1 do 10 nm. [14]

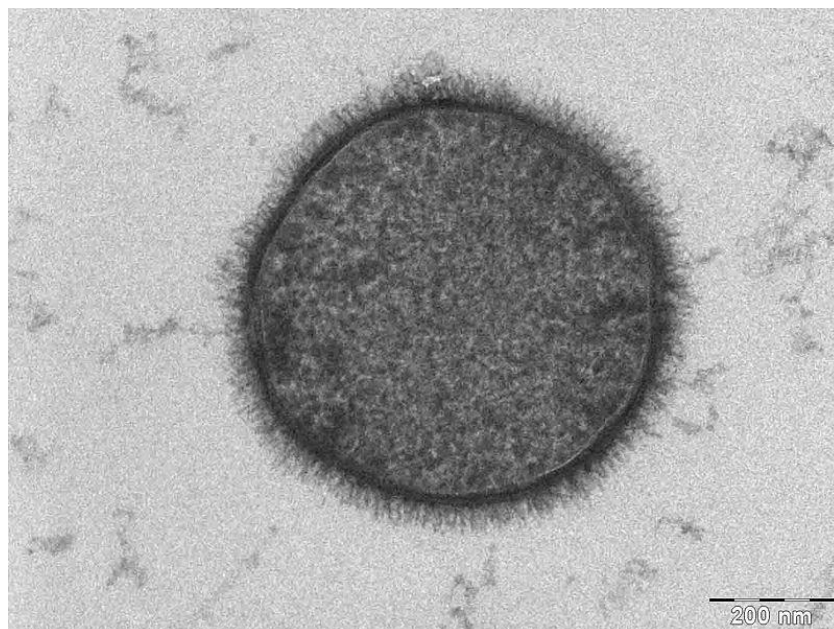
5.2. Priprema uzorka i okoline

Osim toga da uzorak treba biti magnetičan, uzorci i okolina za analizu MFM-om ne zahtjevaju dodatnu pripremu, zbog čega je ta vrsta mikroskopa vrlo zahvalna za korištenje. S druge strane, potrebno je izolirati cijeli mikroskop od vanjskih vibracija. [13]

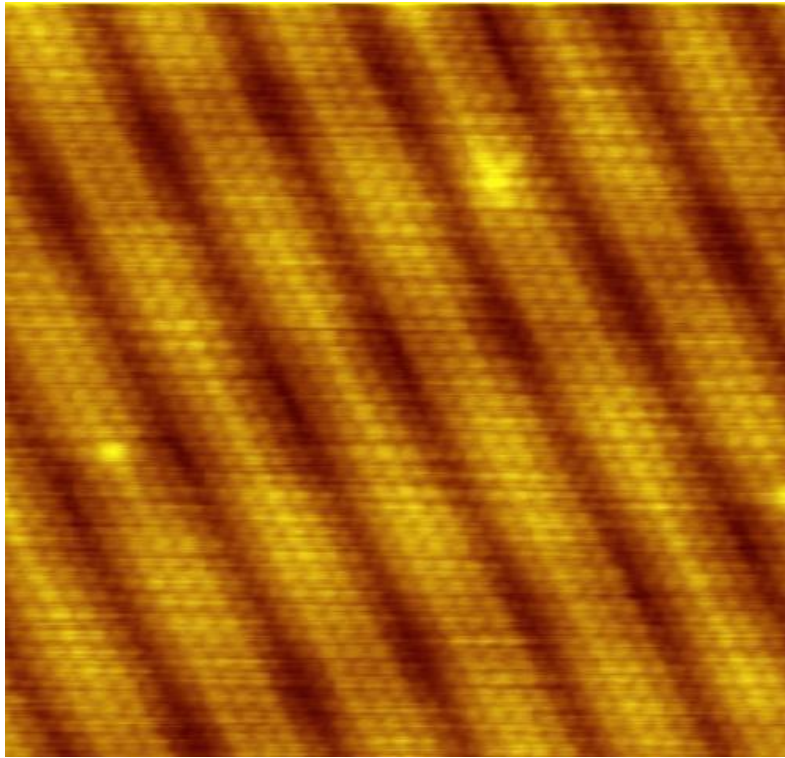
6. Galerija uzoraka



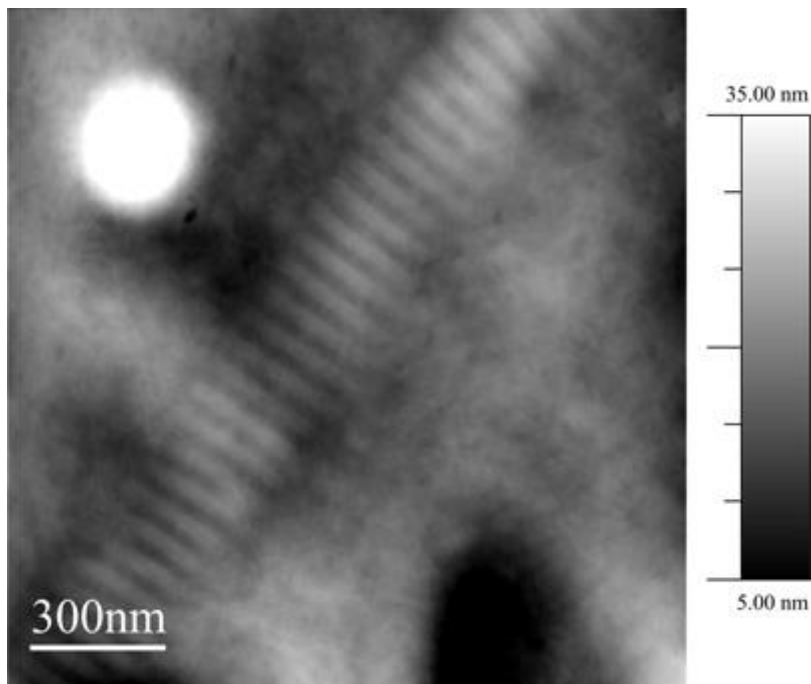
Slika 11: Cvjetni pelud (Cobaea scandens) – slika dobivena korištenjem SEM-a [24]



Slika 12: Bacterium Bacillus subtilis – slika dobivena korištenjem TEM-a [25]



Slika 13: Površina zlata – slika dobivena korištenjem STM-a [26]



Slika 14: Kolageno vlakno – slika dobivena korištenjem AFM-a [27]

7. Zaključak

Moderni mikroskopi su instrumenti koji nude veće povećanje te veću razlučivost u odnosu na svjetlosne mikroskope. Zbog toga su vrlo su rasprostranjen instrument u suvremenom svijetu. Budući da nude mogućnost povećanja bakterija veličine nekoliko mikrometara, među najzaslužnijim su alatima za pronalazak lijekova određenih bolesti. Za takva otkrića potrebni su mikroskopi koji nude najveće povećanje, a to su elektronski mikroskopi. Upravo zbog toga najzastupljeniji su u medicini i farmaciji.

Rad elektronskih mikroskopa temelji se na ubrzanom snopu elektrona koji se gibaju u vakuumu te oni kao takvi nisu prikladni za promatranje živih organizama.

Mikroskopi kao što su AFM i MFM međudjeluju određenim silama s uzorkom. Zbog toga su takvi mikroskopi najzastupljenije u određivanju kakvoće materijala, tj. u elektronici, industriji plastike te poluvodiča.

Na osnovi opisanog načina rada moderni mikroskopi nemaju mogućnost otkrivanja boje uzorka. Slika, koja je analizom uzorka vidljiva na zaslonu računala, je crno-bijela.

8. Literatura

Izvor teksta:

[1] Encyclopedia Britannica,

<https://www.britannica.com/biography/Ernst-Ruska> (31.08.2020.)

[2] A. Bogner, P.-H. Jouneau, G. Thollet, D. Basset, C. Gauthier *A history of scanning electron microscopy developments: Towards ‘‘wet-STEM’’ imaging,*

<http://www.physics.emory.edu/faculty/weeks/lab/papers/bogner-micron07.pdf> (31.08.2020.)

[3] Department of Physics, UC Santa Barbara,

<https://hansmalab.physics.ucsb.edu/afmback.html> (31.08.2020.)

[4] Internetska stranica: <http://e-skola.biol.pmf.unizg.hr/odgovori132.htm> (31.08.2020.)

[5] Microbe Notes, Online Microbiology and Biology Notes

<https://microbenotes.com/scanning-electron-microscope-sem/> (31.08.2020.)

[6] Dr. Tonya Coffey – YouTube kanal, <https://www.youtube.com/watch?v=d7ch1XSmOgI> (31.08.2020.)

[7] Beckman Institute for Advanced Science and Technology, University of Illinois at Urbana-Champaign http://virtual.itg.uiuc.edu/training/EM_tutorial/ (31.08.2020.)

[8] Bettina Voutou, Eleni-Chrysanthi Stefanaki *Electron Microscopy: The Basics*

<https://optiki.files.wordpress.com/2013/03/electron-microscopythe-basics.pdf> (31.08.2020.)

[9] Dr. Tonya Coffey – YouTube kanal,

<https://www.youtube.com/watch?v=1oGOwpiVvw8&t=307s> (31.08.2020.)

[10] Dr. Tonya Coffey – YouTube kanal,

https://www.youtube.com/watch?v=VP22wD_PHvs&t=1209s (31.08.2020.)

[11] Dr. Tonya Coffey – YouTube kanal,

<https://www.youtube.com/watch?v=Yvr0URej4S8&t=239s> (31.08.2020.)

[12] Robert A. Wilson and Heather A. Bullen,* Department of Chemistry, Northern Kentucky University, Highland Heights, KY 41099. *Introduction to Scanning Probe Microscopy (SPM)*,

https://asplib.org/onlineArticles/ecourseware/Bullen/SPMModule_BasicTheoryAFM.pdf

(31.08.2020.)

[13] Institut Ruđer Bošković,

<https://www.irb.hr/Gospodarstvo/Usluge-i-ekspertize/Mikroskop-atomskih-sila-nanoskop>

(31.08.2020.)

[14] Dr. Tonya Coffey – YouTube kanal, <https://www.youtube.com/watch?v=IxLNoMMY-rM>

(31.08.2020.)

[15] Repozitorij Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu,

http://repositorij.fsb.hr/582/1/20_03_2009_diplomski_bc.pdf (31.08.2020.)

Izvor slika:

[16] Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com> (Pristupljeno 01.09.2020.)

[17] Wikipedia, Michael Schmid and Grzegorz Pietrzak *Raster tunnel mikroskop – schema*,

https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_tunneling_microscope (Pristupljeno 02.09.2020.)

[18] University of Cambridge,

<https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/scanner.php?fbclid=IwAR23QnkegShhizRwyRSzokEVv5W-jxgPcMfUCWaj6KOB-EKAWHinB0l6OR0> (Pristupljeno 02.09.2020.)

[19] Electron Microscopy Core, University of Missouri,

http://emc.missouri.edu/high-resolution-sem/?fbclid=IwAR1kpBqDbpgv8hd0tB0hcbLZIZkU15GkU_Cd2SGGTFIT9ED6307owdY4W4 (Pristupljeno 02.09.2020.)

[20] Nebraska Center for Biotechnology, University of Nebraska – Lincoln,

https://biotech.unl.edu/transmission-electron-microscope?fbclid=IwAR0fo2-kLmzjbKAH2KH3o9oP12gy_fin2uMhZVvgt7nv2Xhle-6KFhKsVOI (Pristupljeno 02.09.2020.)

[21] AZoNano, https://www.azonano.com/equipment-details.aspx?EquipID=1714&fbclid=IwAR2DtDCj_Dk2FtkwUYvKjv8sqZEK6RVibvPY9Mtl y7LlSXaXN3FUVseGic (Pristupljeno 02.09.2020.)

[22] Transformative Quantum Technologies
<https://tqt.uwaterloo.ca/labequipment-details/omicron-stm-afm/> (Pristupljeno 02.09.2020.)

[23] University of Cambridge,
https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/tip_surface_interaction.php?fbclid=IwAR2yA5JAQMUrV4VOF6hKiTAABhDL_uJrhNXDTVTEOXTucfQvbeIW11pnKAc
(Pristupljeno 02.09.2020.)

[24] Marie Majaura - *SEM image of Cobaea scandens pollen*
https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope#/media/File:Cobaea_scandens1-4.jpg (Pristupljeno 02.09.2020.)

[25] The Bacterium Bacillus subtilis taken with a Tecnai T-12 TEM. Taken by Allon Weiner, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel. 2006
https://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_electron_microscopy?fbclid=IwAR0tu-5exsbXbsS7SgbdG5HIDfxAR14CaxEBHkJwzRW4gu_lwpop_COrPA#/media/File:Bacillus_subtilis.jpg (Pristupljeno 02.09.2020.)

[26] Erwin Rossen - *Image of reconstruction on a clean gold (100) surface*
https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_tunneling_microscope?fbclid=IwAR0Tz_63Tu_gTsqlO7elZDCycOAXCJSLv32vW6AsFZaboRWAKO5BHxavEcY#/media/File:Atomic_resolution_Au100.JPG (Pristupljeno 02.09.2020.)

[27] University of Cambridge *Topographic AFM image of a collagen fibril*
<https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/intro.php?fbclid=IwAR14eNjYaZbkLnFC06WkGhCcpC7fDIIEfb0i5WE4zpSOYd9wSH9DmQ2KJ9k> (Pristupljeno 02.09.2020.)

Životopis

Ja, Jelena Matekalo, rođena sam 20.04.1997. godine u Osijeku u Republici Hrvatskoj. Pohađala sam Osnovnu školu Đakovački Selci u Selcima Đakovačkim koju sam završila 2012. godine. Iste godine upisujem Gimnaziju Antuna Gustava Matoša u Đakovu. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja, 2016. godine, upisujem preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku u Osijeku koji trenutno pohađam.