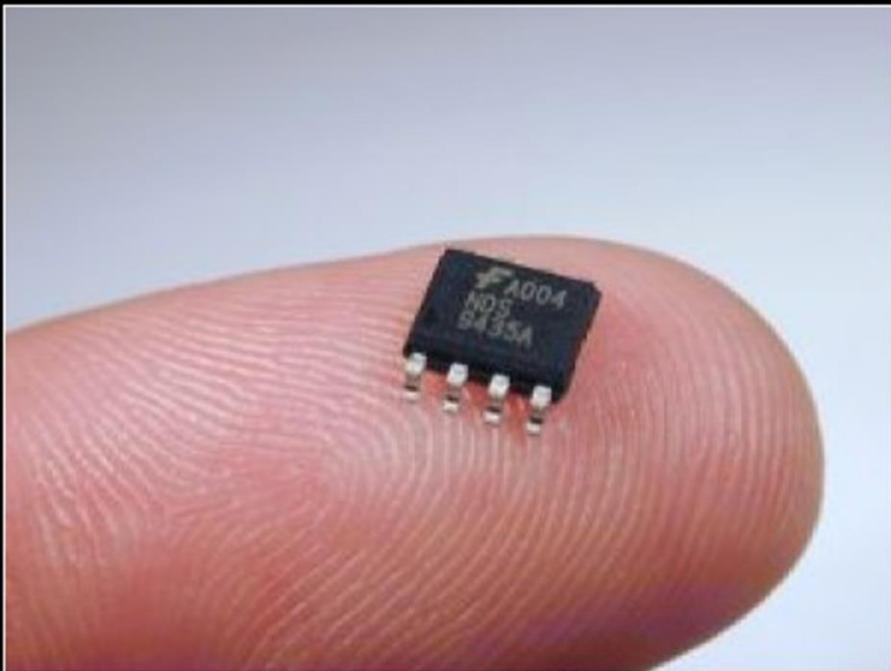


Projekti „Fanas“ Eurocores „Nanoparma“ elutsükkel

Rünno Lõhmus,
projektijuht

Nanotehnoloogia

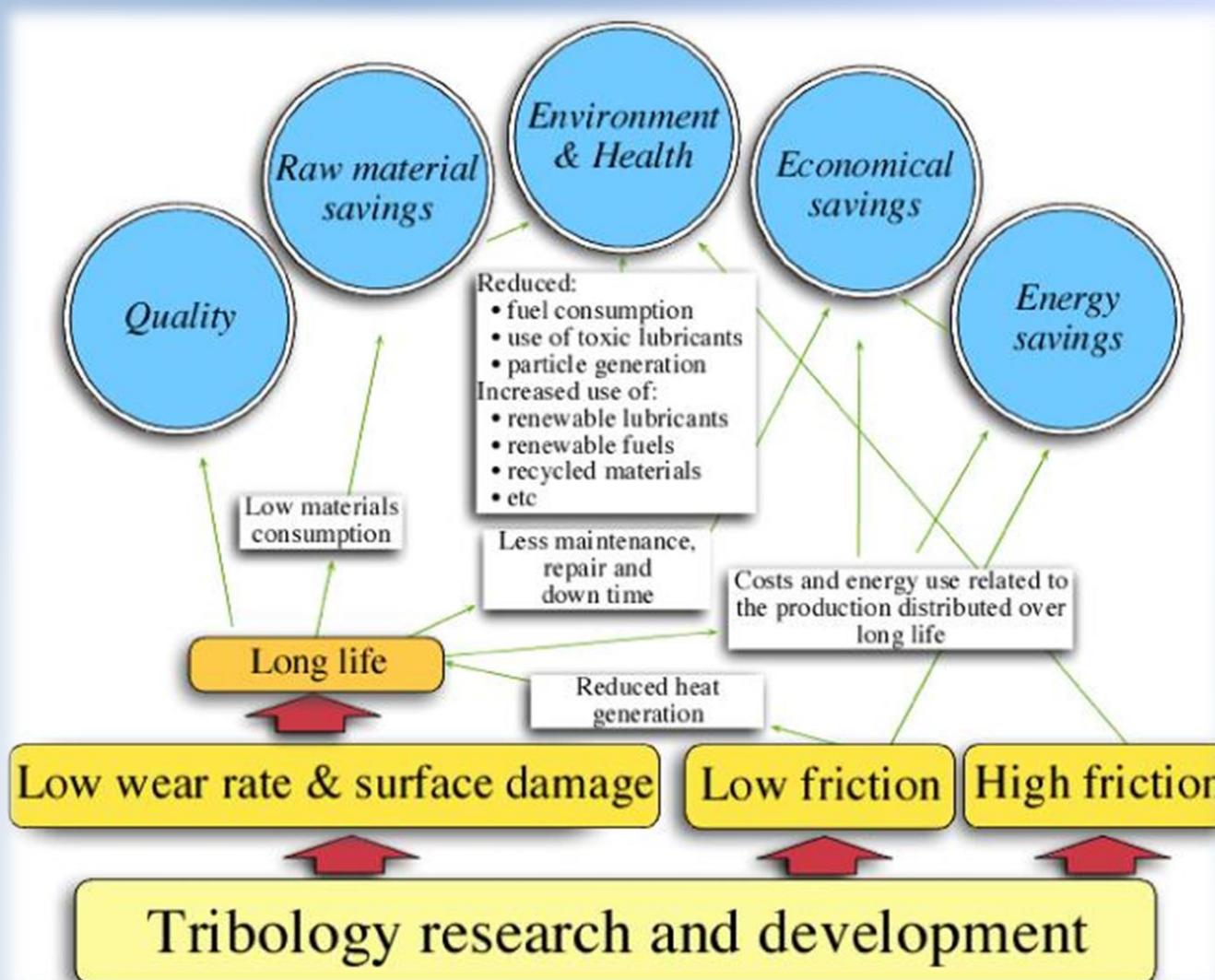


NANOTECHNOLOGY

Not as big as regular technology.

DemotivationalPost.com

Triboloogia



- Triboloogia on teadusharu, mis käsitleb detailide hõõrdumist, määrimist, kulumist ja naket.

Milleks veel Nanotriboloogia?

- Nanotriboloogias uuritakse mikro- ja nanokontakte kontrollitud geomeetriaga osakestel. Selles skaalas füüsikaliste nähtuste selgitamine on võtmeeks mõistmaks kuidas toimivad triboloogianähtused eri mõõtskaalades.



IN THE FUTURE...

People will be able to walk down crowded corridors any way they wish, to get to their destinations as fast as possible.



Eurocores „FANAS“

- Friction and Adhesion in Nanomechanical Systems (FANAS)
 - FANAS programmi eesmärgiks oli paremini mõista hõõrde ja nakke tekkepõhjuseid ning seeläbi ka õppida neid kontrollitavalts muutma!
1. Mõista, kuidas mikro- ja nanoskaala triboloogilistes süsteemides on hõõrdumis - ja nakkeprotsessis nähtused seotud energiakaoga;
 2. Täita tühimikud nano-, mikro- ning makroskaalas nii hõõrdumis-, määrimise-kui ka kulumisprotsesside modifitseerimisel ja kontrollimisel;
 3. Nanomanipulatsioonid erinevatel pindadel;
 4. Biomimeetilised triboloogilised uuringud ja tribokeemia.

Nanoparticle Manipulation with Atomic Force Microscopy Techniques (NANOPARMA)

Consortium

Project Leader:

- **Dr. André Schirmeisen**
Department of Physics, Institute of Physics, University of Münster, Münster, Germany

Principal Investigators:

- **Professor Rogerio Colaço**
Department of Material Engineering, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal
- **Dr. Rynno Lohmus**
Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, Estonia
- **Professor Peter Reimann**
Faculty of Physics, University of Bielefeld, Bielefeld, Germany
- **Professor Ivan Stich**
Department of Physics, Center for Computational Materials Science (CCMS), Slovak University of Technology (FEI STU), Bratislava, Slovak Republic

Associated Partners:

- **Dr. Donats Erts**
Institute of Chemical Physics, University of Latvia, Riga, Latvia
- **Dr. Enrico Gnecco**
Institute of Physics, University of Basel, Basel, Switzerland
- **Professor Karine Mougin**
CNRS, Institut de Chimie des Surfaces et Interfaces, Mulhouse, France
- **Professor Udo D. Schwartz**
Department of Mechanical Engineering, Yale University, New Haven, United States

Eesti eesmärgid 25.08.2007 16.45

Estonian group will investigate nanoscale interaction and mobility of gold and silver nanoparticles obtained from France group on the simple and also on the modified adhesion/structure surfaces. This task **will be realized with combined scanning electron microscope and scanning probe microscope techniques** (friction force microscopy, tapping mode AFM), which is seldom used for *in situ* nanoparticle manipulation.....

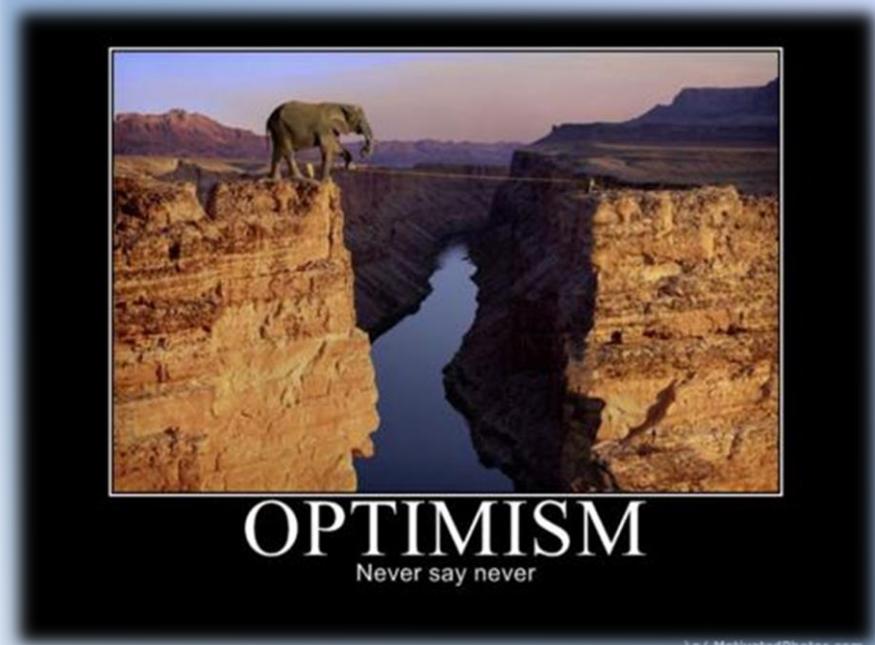
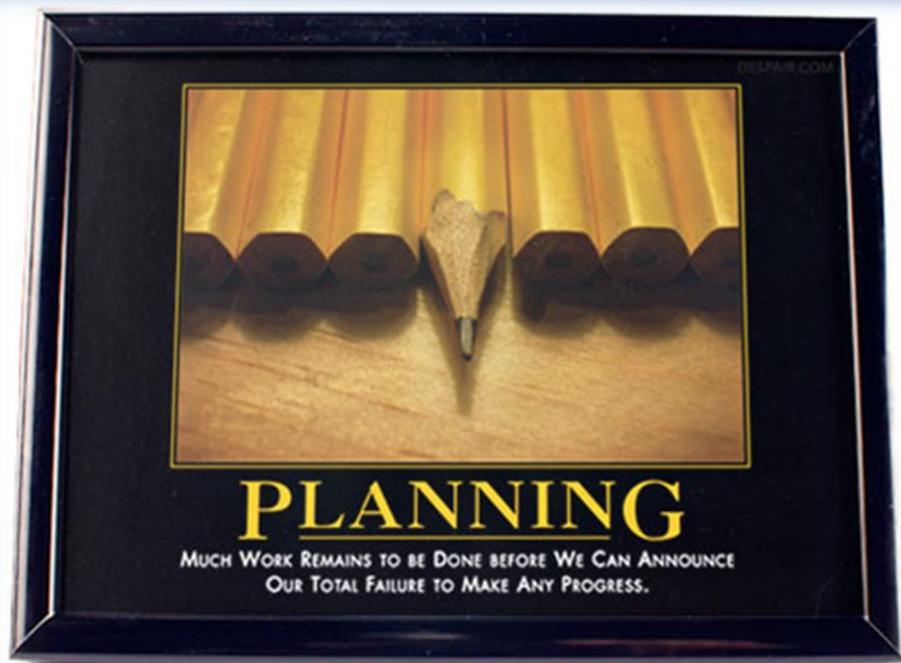


THE FUTURE

Right now it doesn't look so bright.

Projekti käivitamine

- Seadmepargi loomine
- Uurimisobjektide loomine



Meeskond



© DESPAIR.COM

TEAM BUILDING

SOMETIMES, THE MOST IMPORTANT LESSON YOU CAN LEARN
Is THAT YOU'RE NOT A VERY GOOD TEAM.

Kraadiõppurid

- 2014 Hetkeseisuga on projektiga seotud 4 doktoranti ja 1 magistrant
- 2008-2013 kaitsest
6 Doktoranti (1 Summa Cum Laude)
13 Magistranti (5 Cum Laude)
- 2009-2012 oli kaasatud projekti järeldoktor
B.Poljakov



Doctorate at Physics

8 years of studying, worth it

Demotivation.us

Meeskond



Dr. Rünno Lõhmus



Dr. Sergei Vlassov



Dr. Leonid Dorogin



Dr. Boris Polyakov



Prof. Alexey Romanov



Dr. Ants Lõhmus

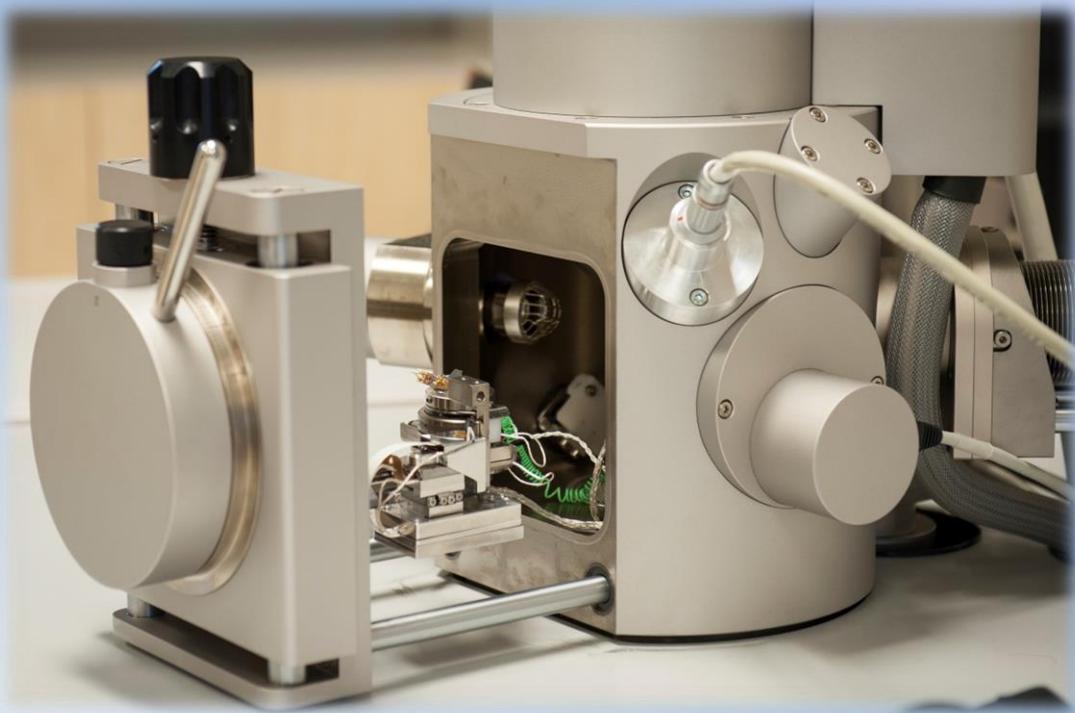


PhD Student Madis Umalas



PhD Student Mikk Antsov

Nanomanipulaator elektronmikroskoobis



- Tescan SEM Vega II
Seadme maksumus 1,3 miljEEK!
(aastane kasutatav summa oli
1miljEEK)



- Nanomanipulaator
(SLC-1720-S,
SmarAct)

Bruker Dimension Edge



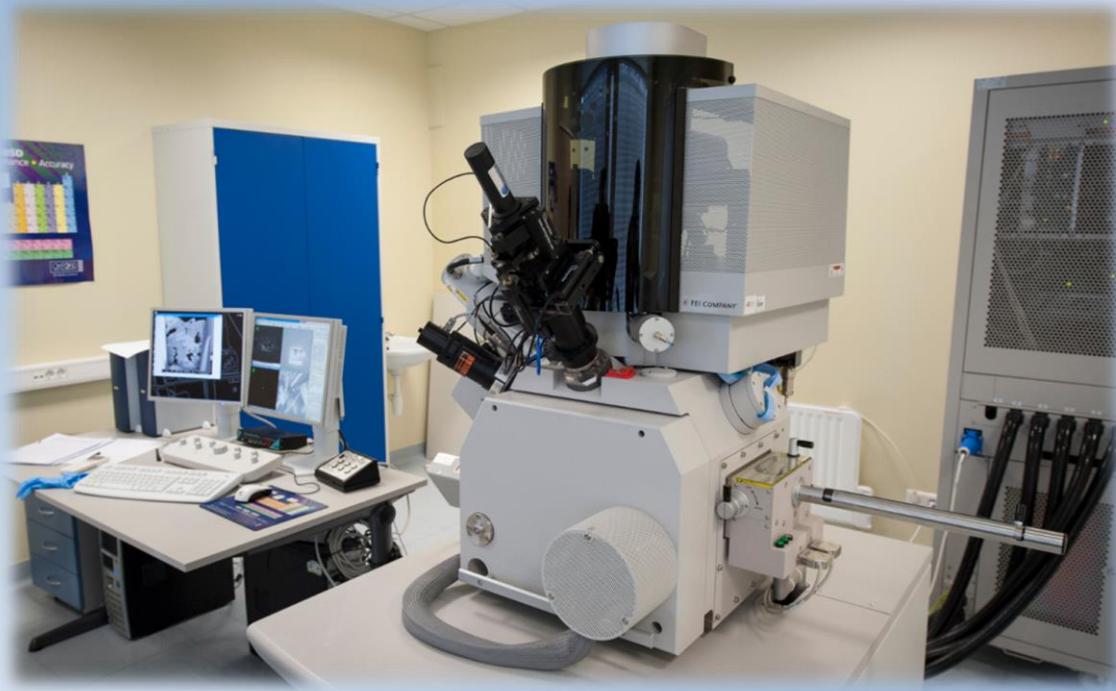
- AFM aktsioonis.



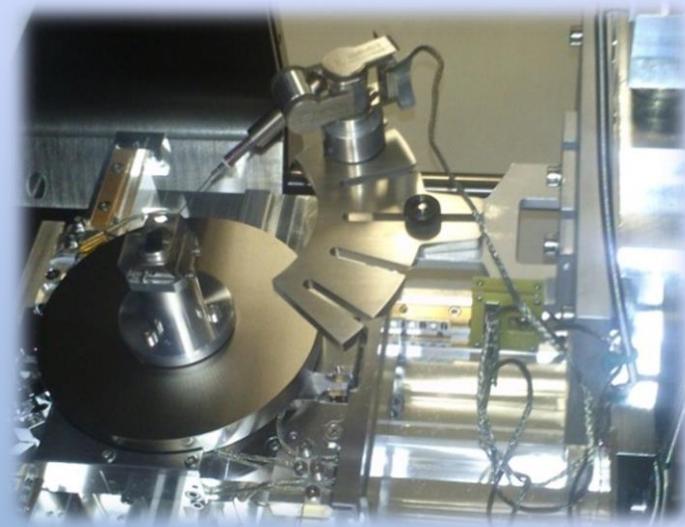
- AFM puhasrumis.

- Dr. Vlassov katsetamas

Nanomanipulaator elektronmikroskoobis



- Kõrglahutus SEM (FEI SEM Helios Nanolab 600)



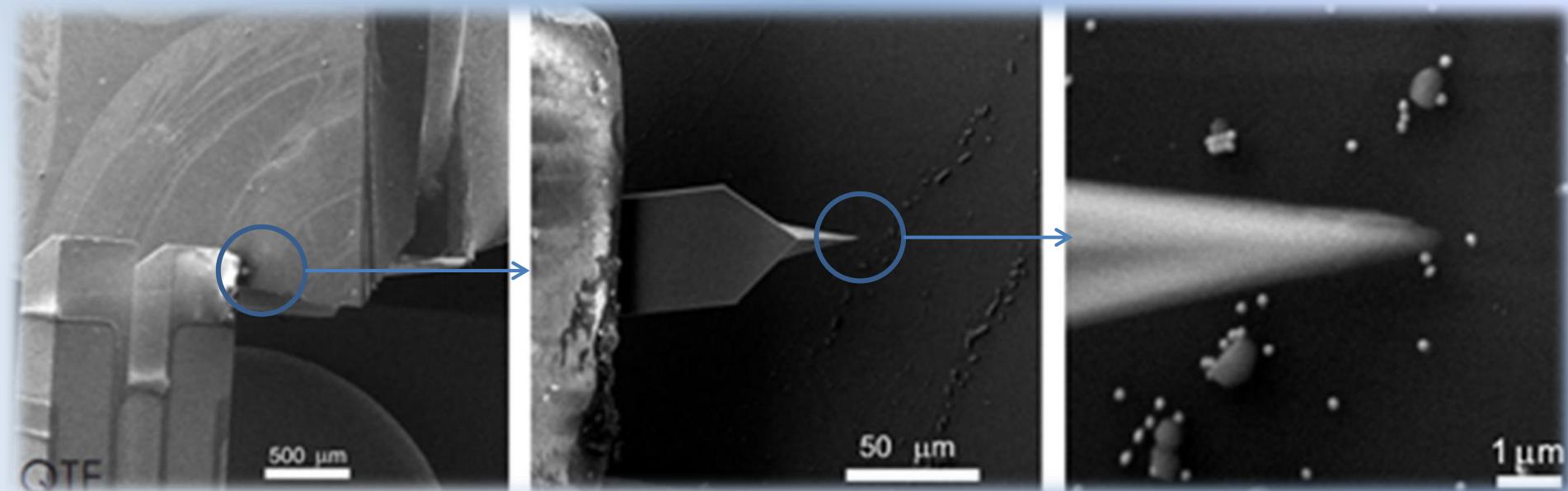
- Manipulaator SEM'is



- Kleindiek'i mikromanipulaator

QTF’I baseeruv jõusensor

- Teravik liimitud hargi ühele haarale.
- Head:
 - Odav.
 - Valmistamise lihtsus.
 - Kõrge Q-faktor võimaldab jõudusid nN skaalas regstreerida.

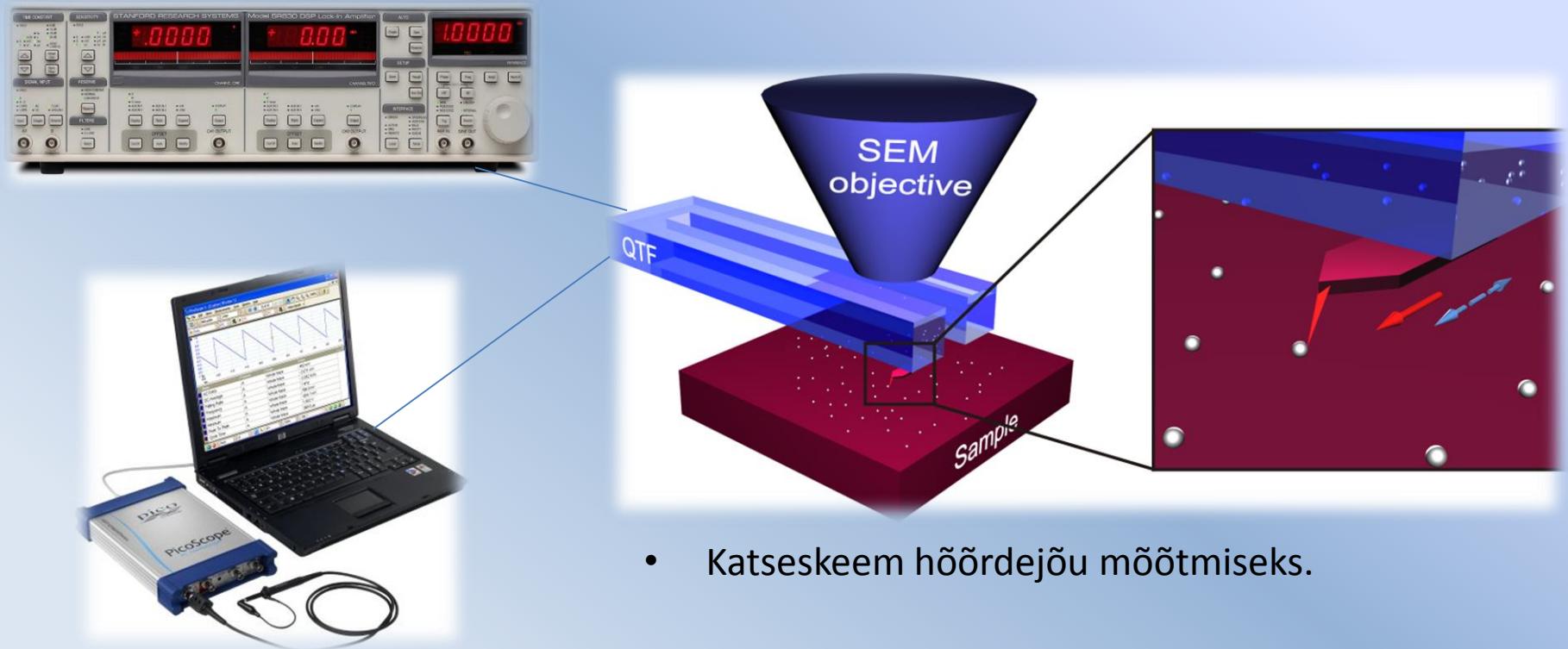


- SEM'i pilt jõusensorist mõõtmas Au nanoosakeste ja Si pinna vahelist hõõrdejõudu

15

Jõu mõõtmine nanotasemel

Lock-In võimendi (Stanford Research) ja sagedusgeneraator

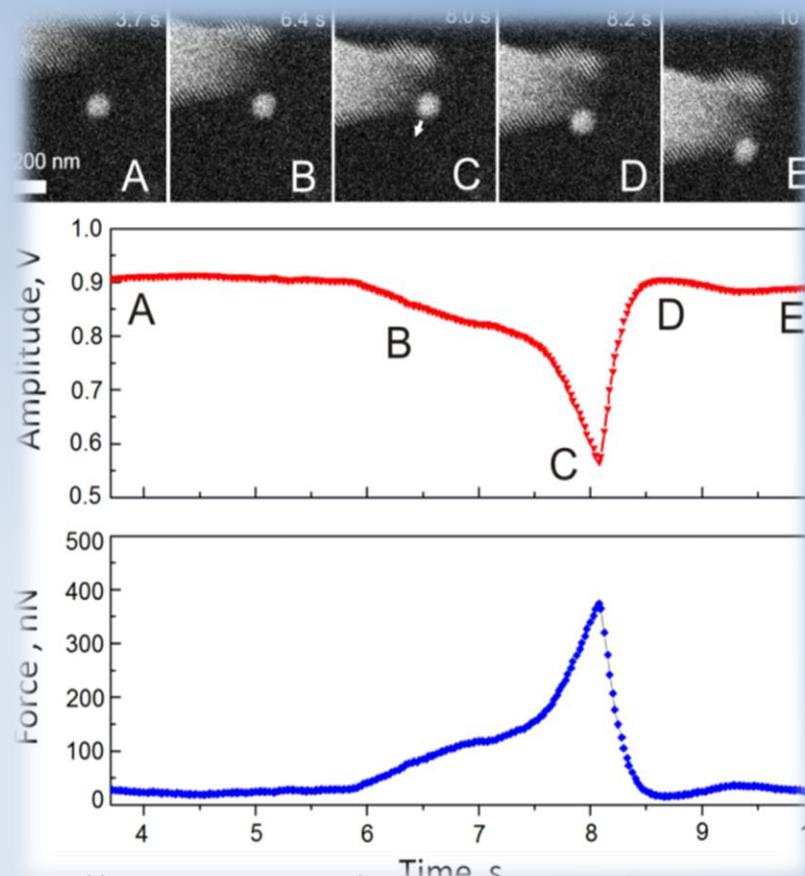


- QTF töötab resonantsagedusel.
- Võnkeparameetrid sõltuvad teravikule mõjuvast jõust.
- Katseskeem hõõrdejõu mõõtmiseks.

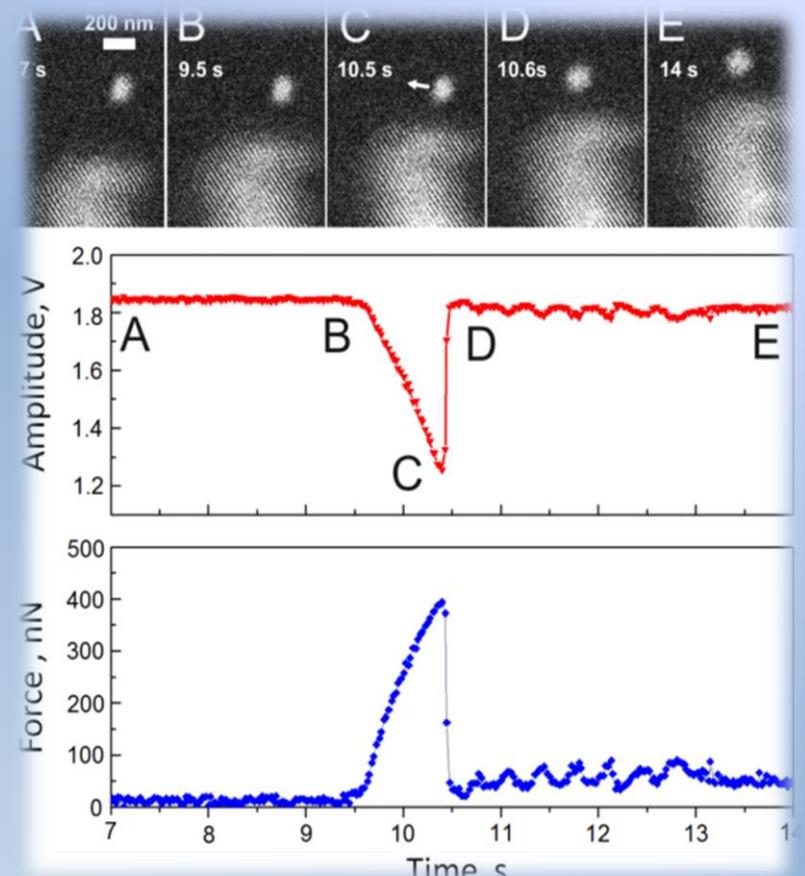
Kulla nanoosakeste hõõrdejõu mõõtmine

Au nanoosakesed oküdeeritud räni pinnal.

Ristivõnkumine



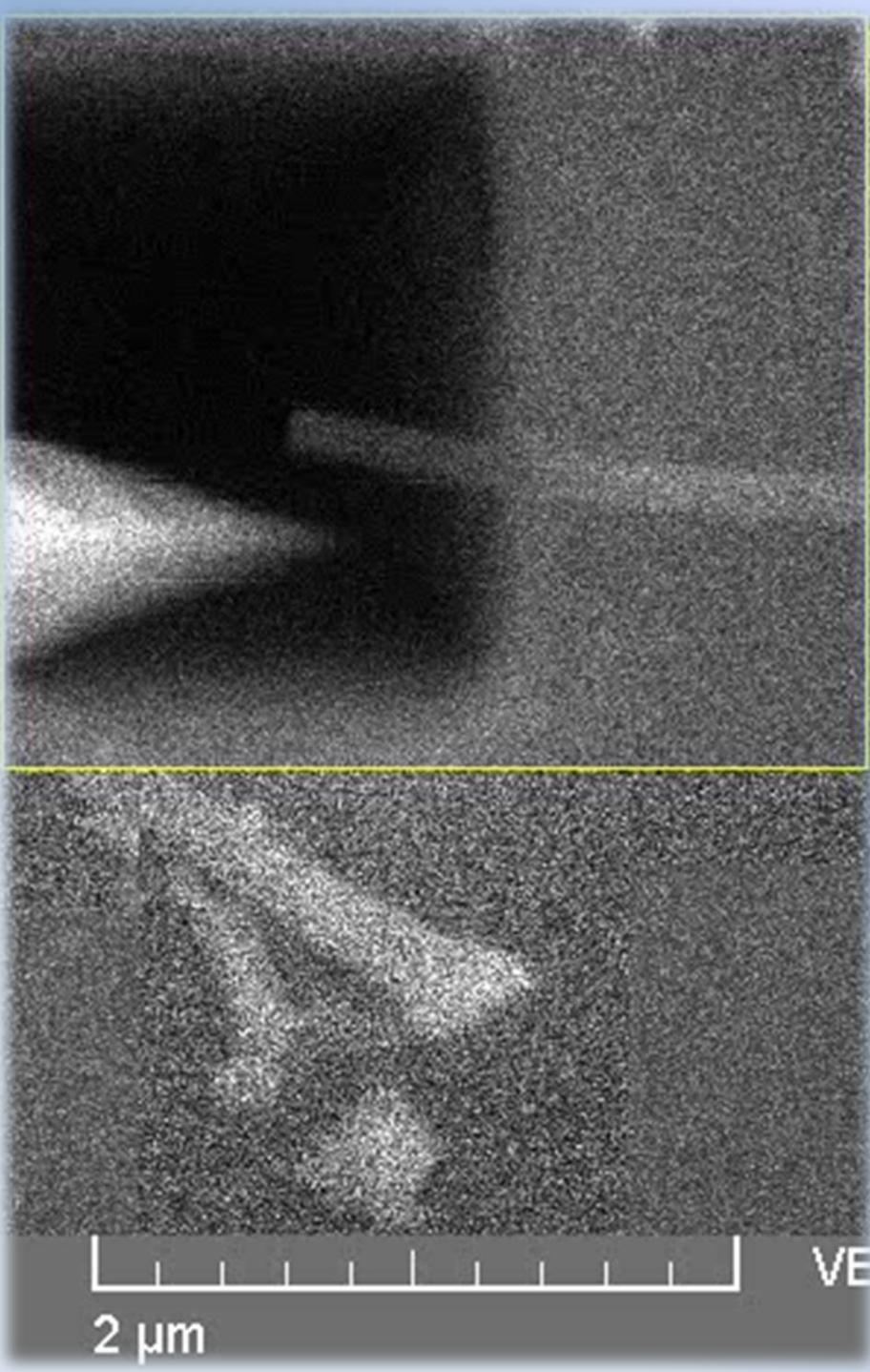
Paralleelvõnkumine



- Kulla nanoosakeste hõõrdumise mõõtmine räni pinnal QTF'il baseeruva jõusensoriga.

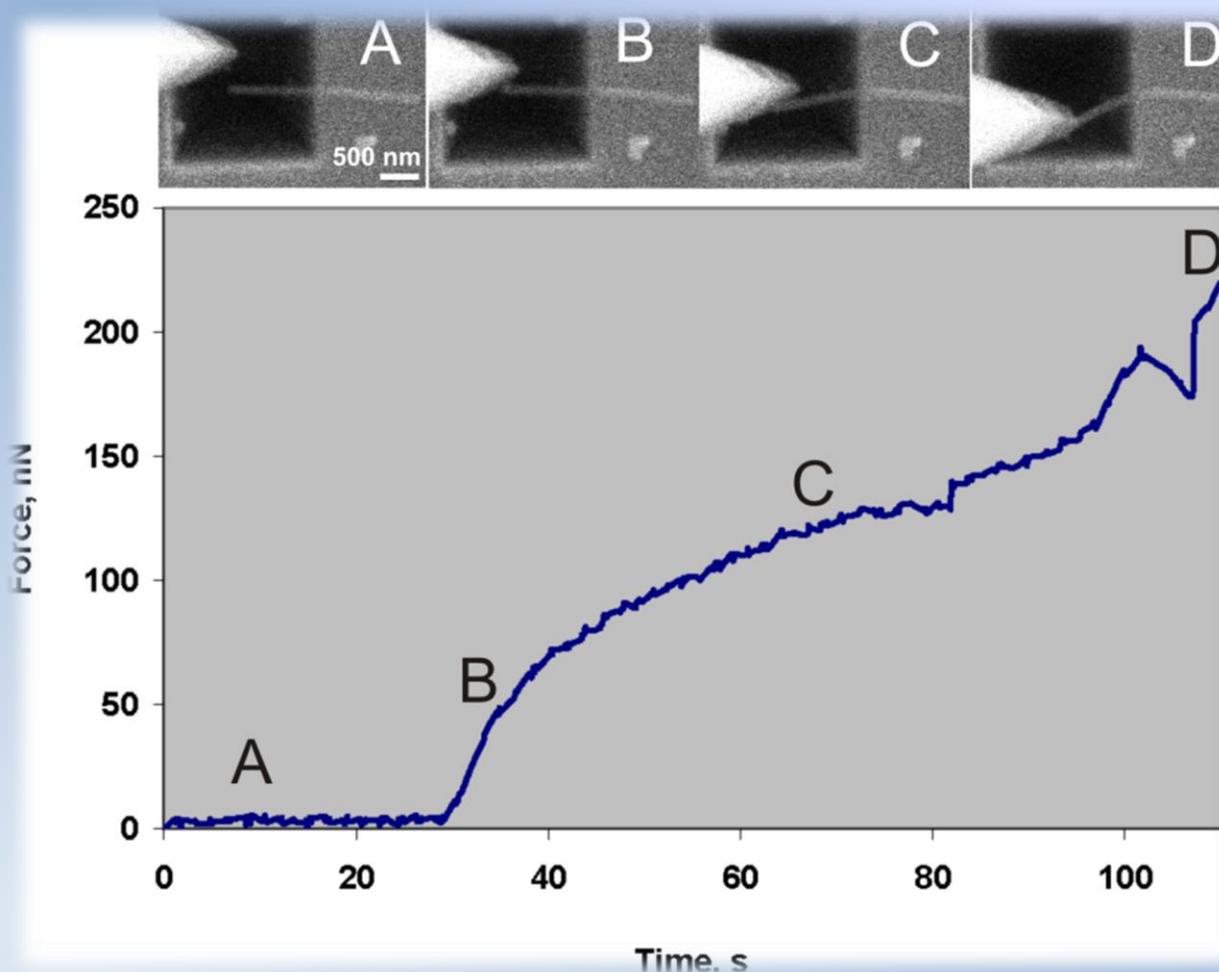
Nanotraadi painutus jõusensoriga

- ZnO nanotraadi painutamine QTF'i baasil töötava jõusensoriga räni alusel.



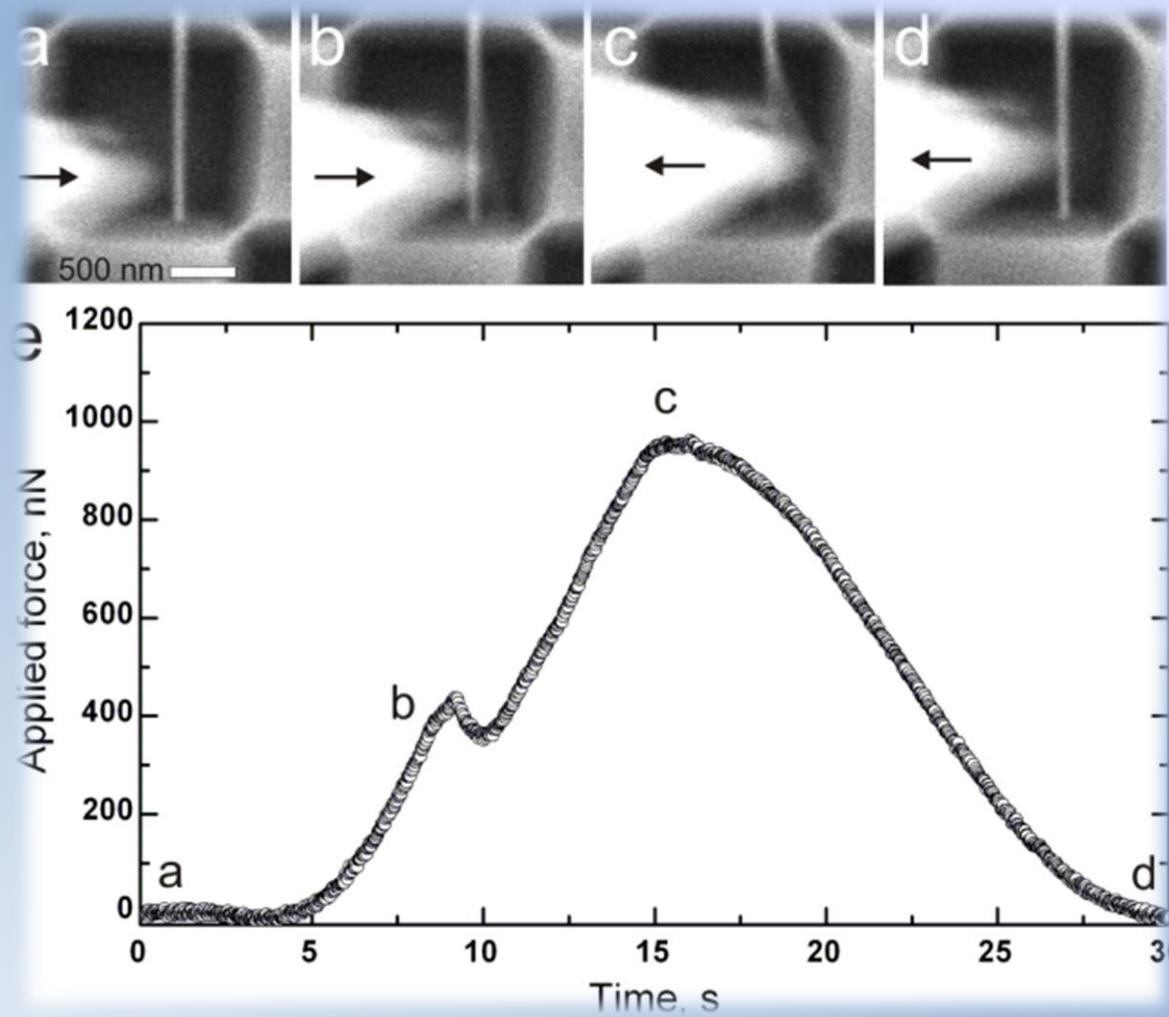
Polyakov et al (2011). Real-time measurements of sliding friction and elastic properties of ZnO nanowires inside a scanning electron microscope. Solid State Communications, 151(18), 1244 - 1247.

ZnO nanotraatide mehaanilised omadused



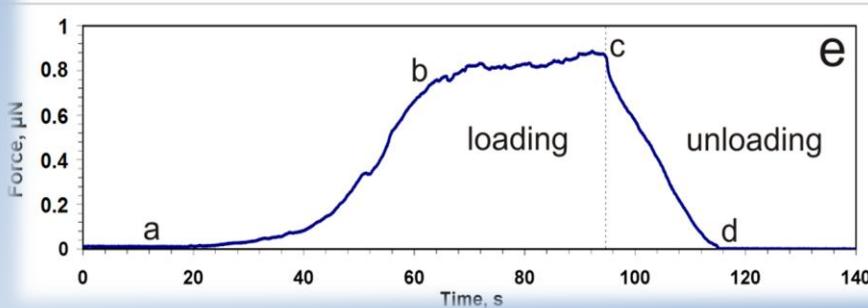
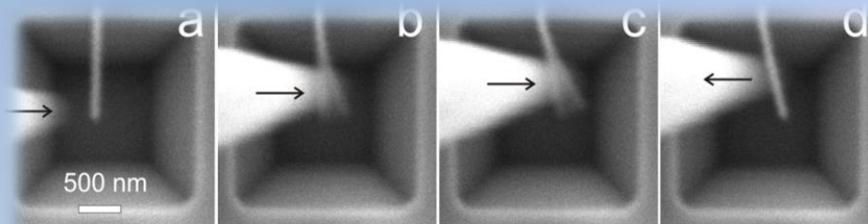
- ZnO painutuskatse QTF'il baseeruva jõusensoriga.
- Elastsusmoodul 22-117 GPa, keskväärtus 58 ± 34 GPa

CuO nanotraatide mehaanilised omadused



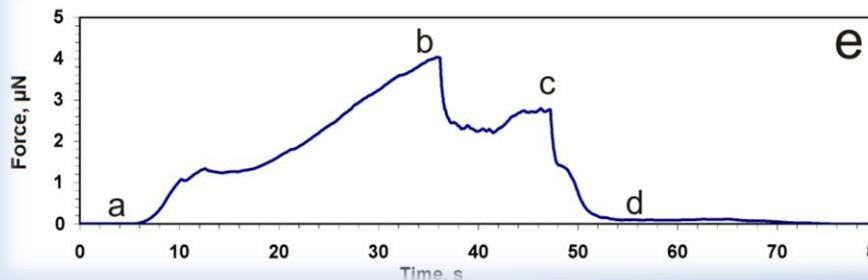
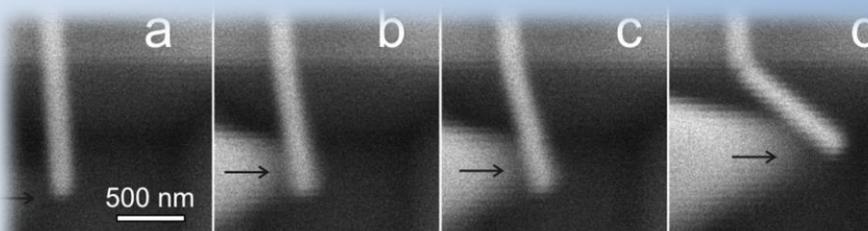
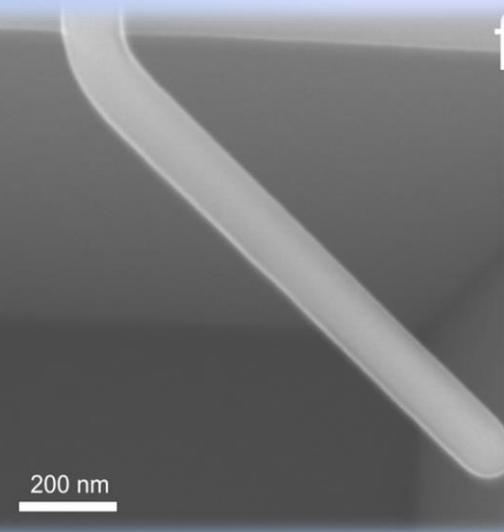
- CuO painutuskatse QTF'il baseeruva jõusensoriga.
- Elastsusmoodul 30 kuni 400 GPa, keskväärtus 204 ± 116 GPa.

Hõbedananoatraatide painutamine



f

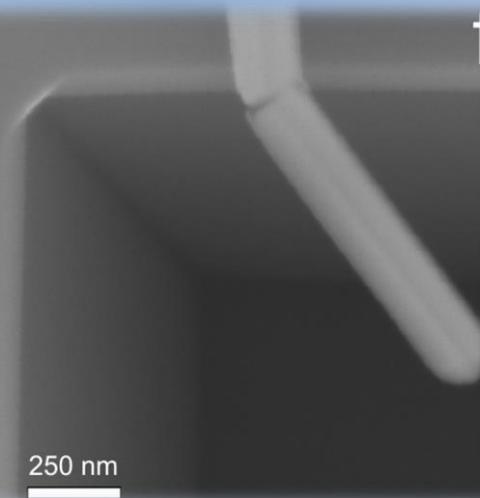
Plastne
deformatsioon



f

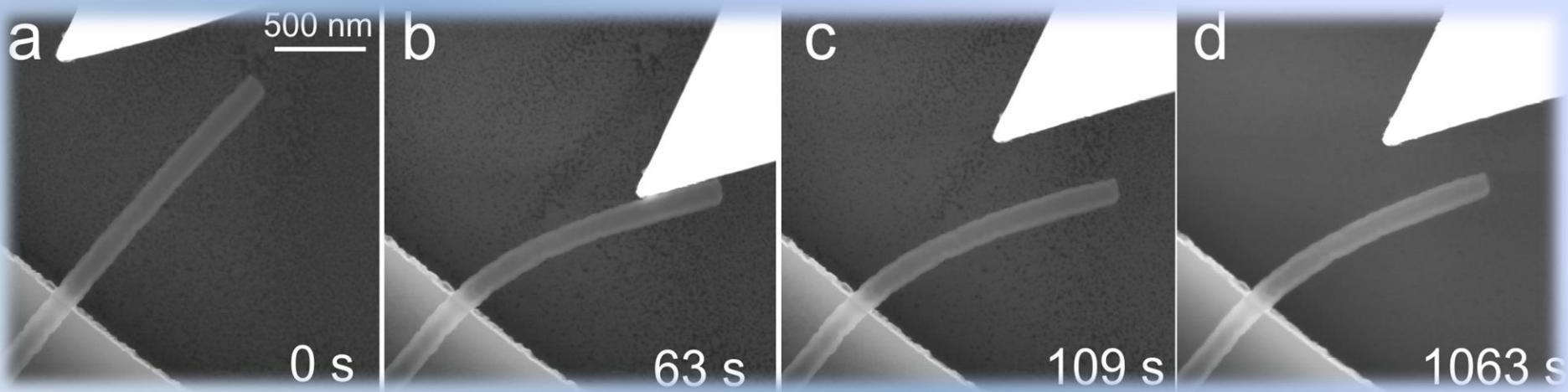
Habras
murdumine
(1/3)

Keskmine
elastsusmoodu:
90GPa



Nanoatraatide esialgne kuju ei taastu.

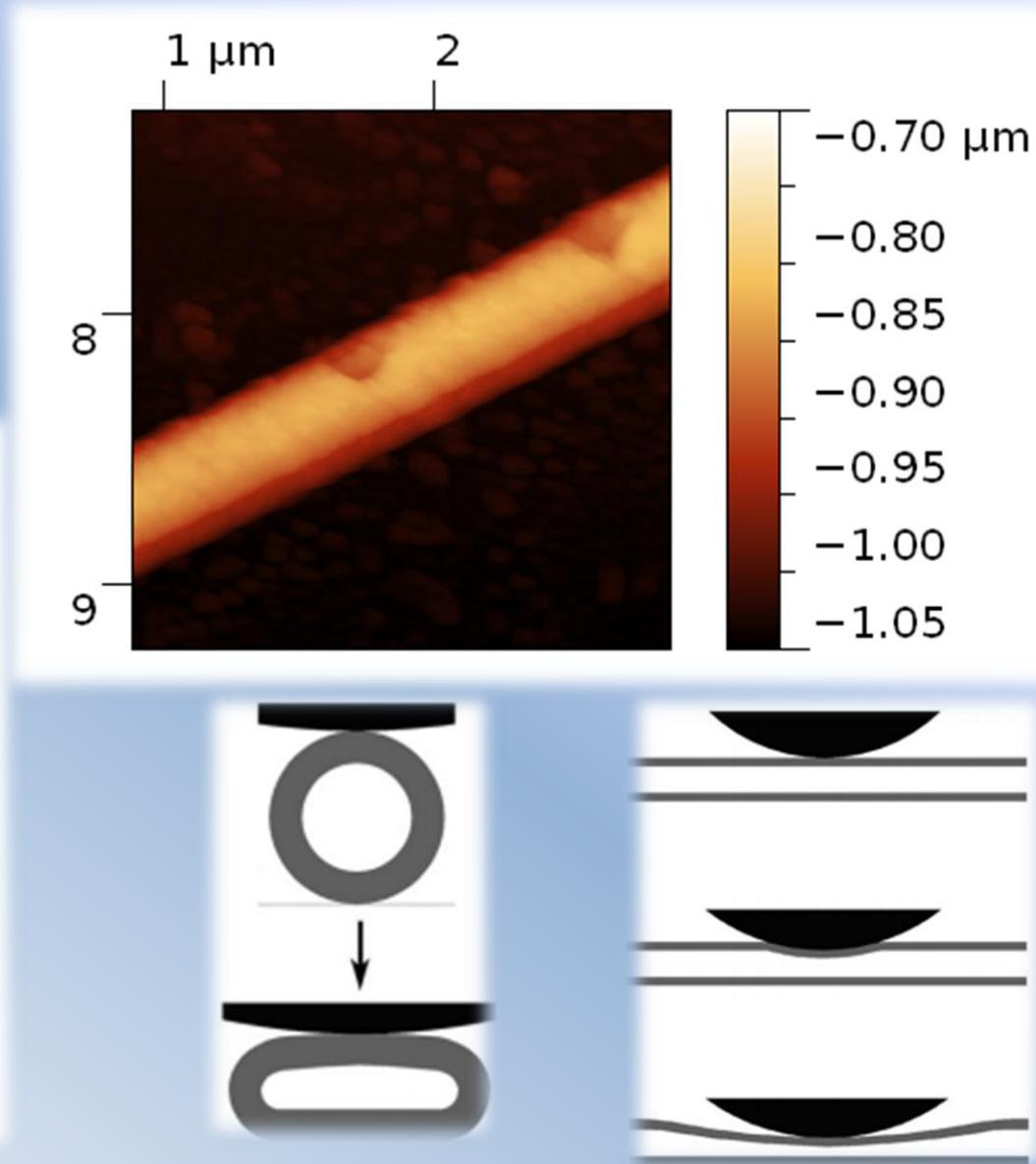
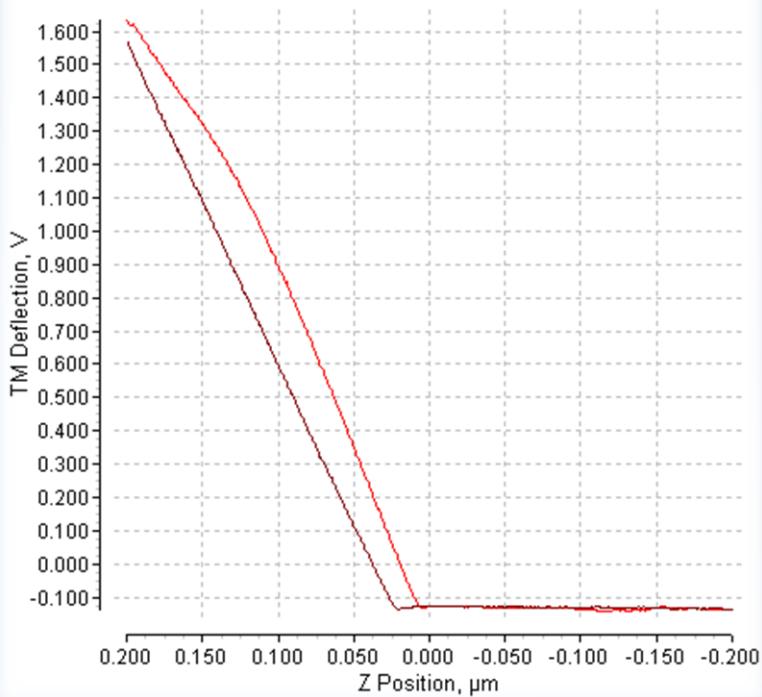
SiO_2 nanotorude painutamine



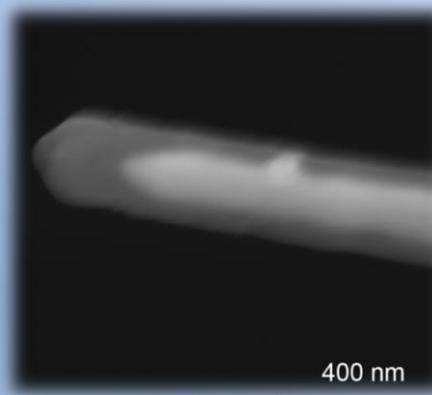
- Höbeda tuum eemaldati keemiliselt.
- a) Teravik läheneb nanotorule.
- b) Nanotoru paindub.
- c) Teravik eemaldub nanotorust.
- d) Nanotoru esialgne kuju ei taastu.

SiO_2 kesta nanosälgustus

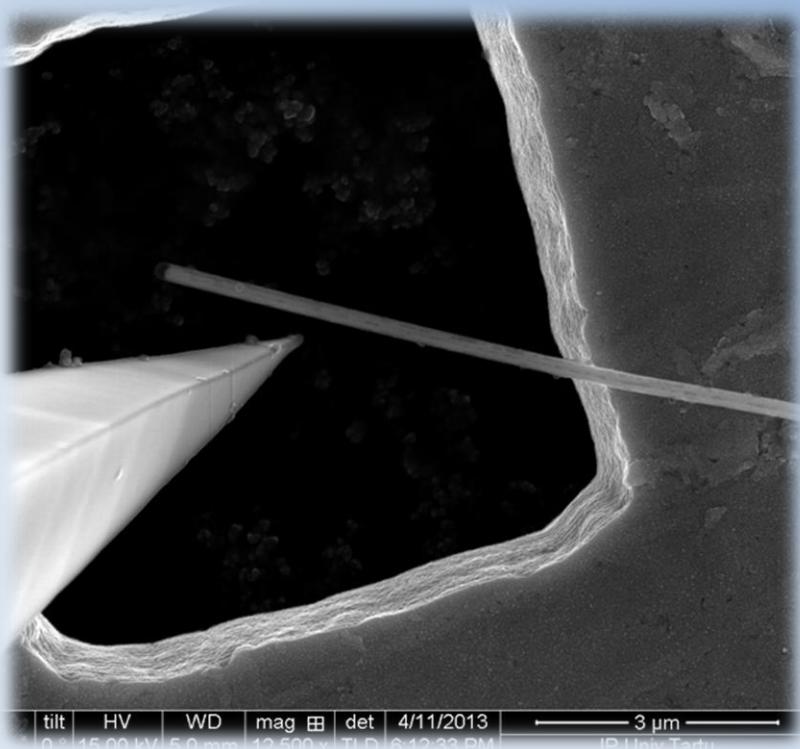
- AFM'ga „torkimine“
- Jõu-sügavuse kõver



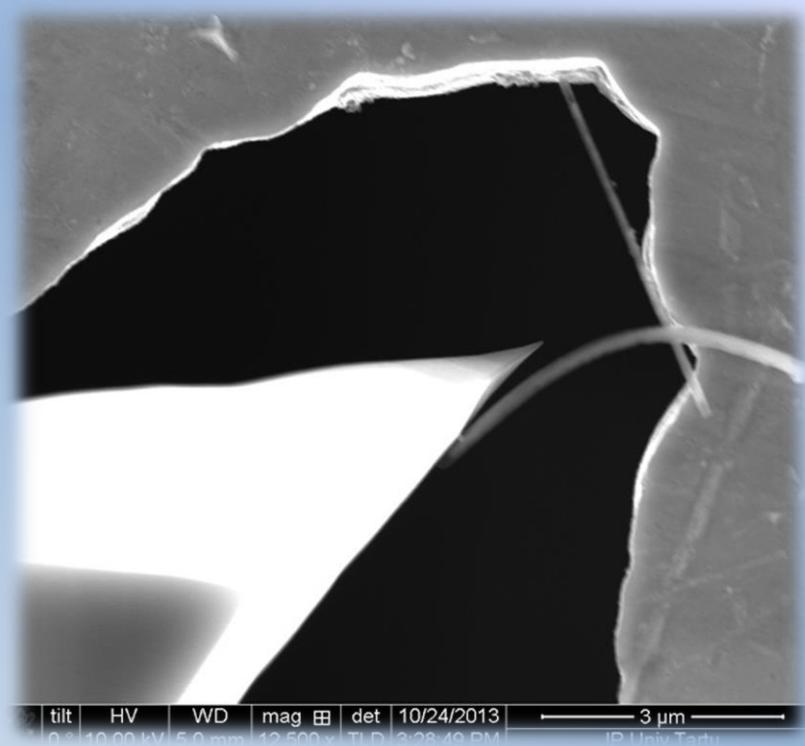
Ag-SiO₂ tuum-kest struktuuri painutus



Vastupidavamad

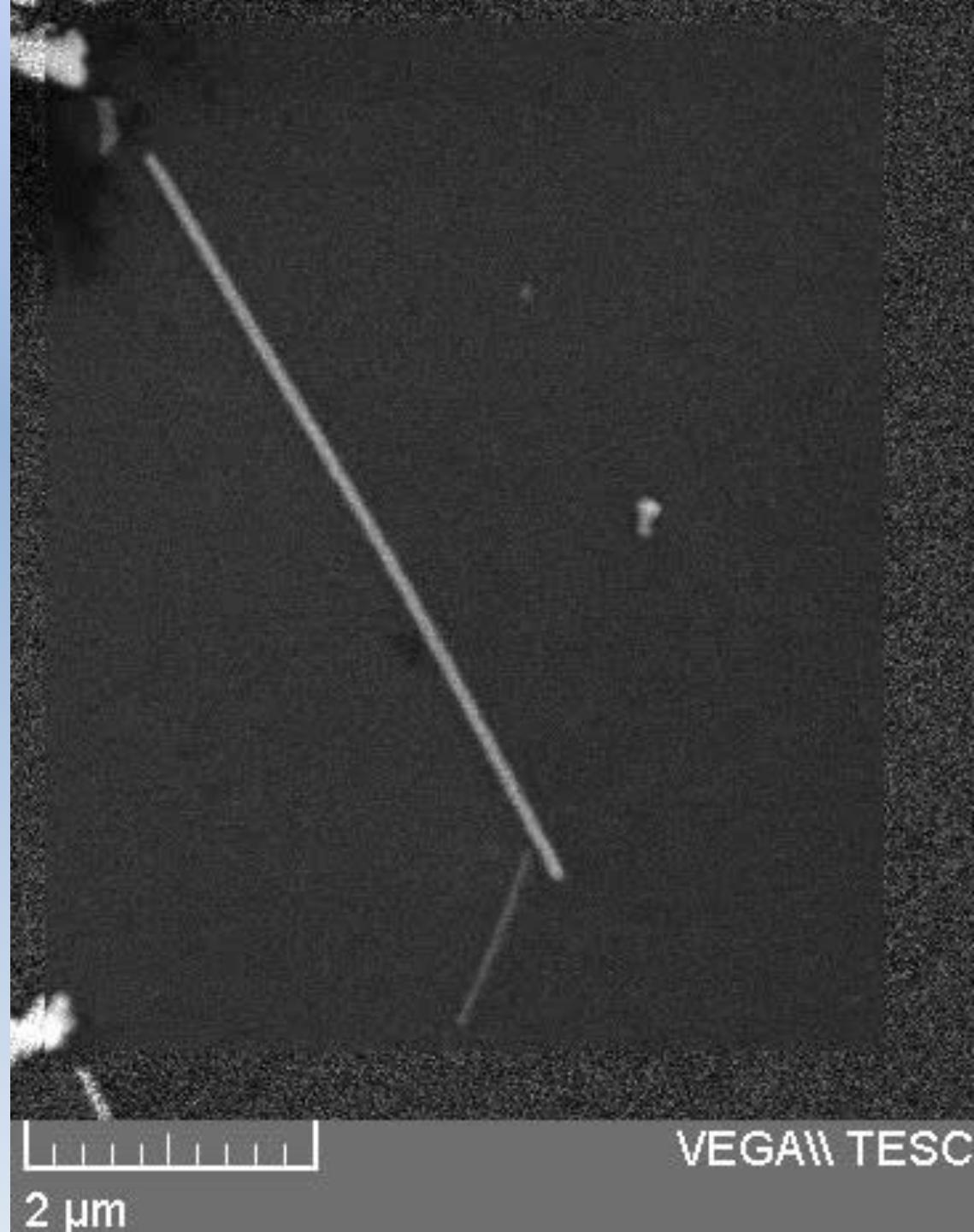


Kuju-mälu



Nanotraatide manipuleerimine ilma jõusensorita

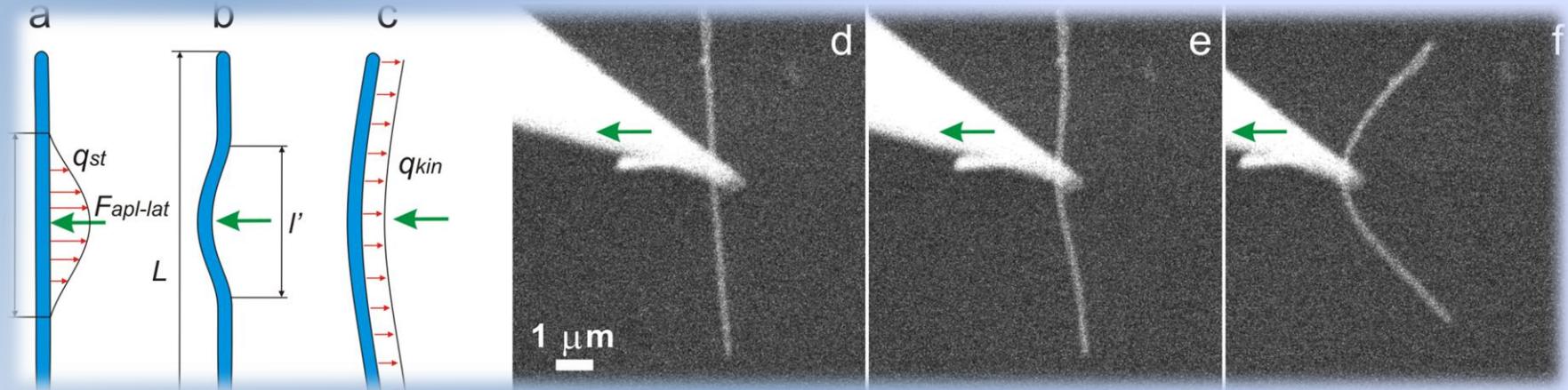
**NB! Oksiidsed nanotraadid
käituvad üllatavalt
paindlikult!**



Polyakov et al (2011). Real-time measurements of sliding friction and elastic properties of ZnO nanowires inside a scanning electron microscope. Solid State Communications, 151(18), 1244 - 1247.

VEGA\ TESCAN

ZnO kineetilise hõõrdumise mõõtmine

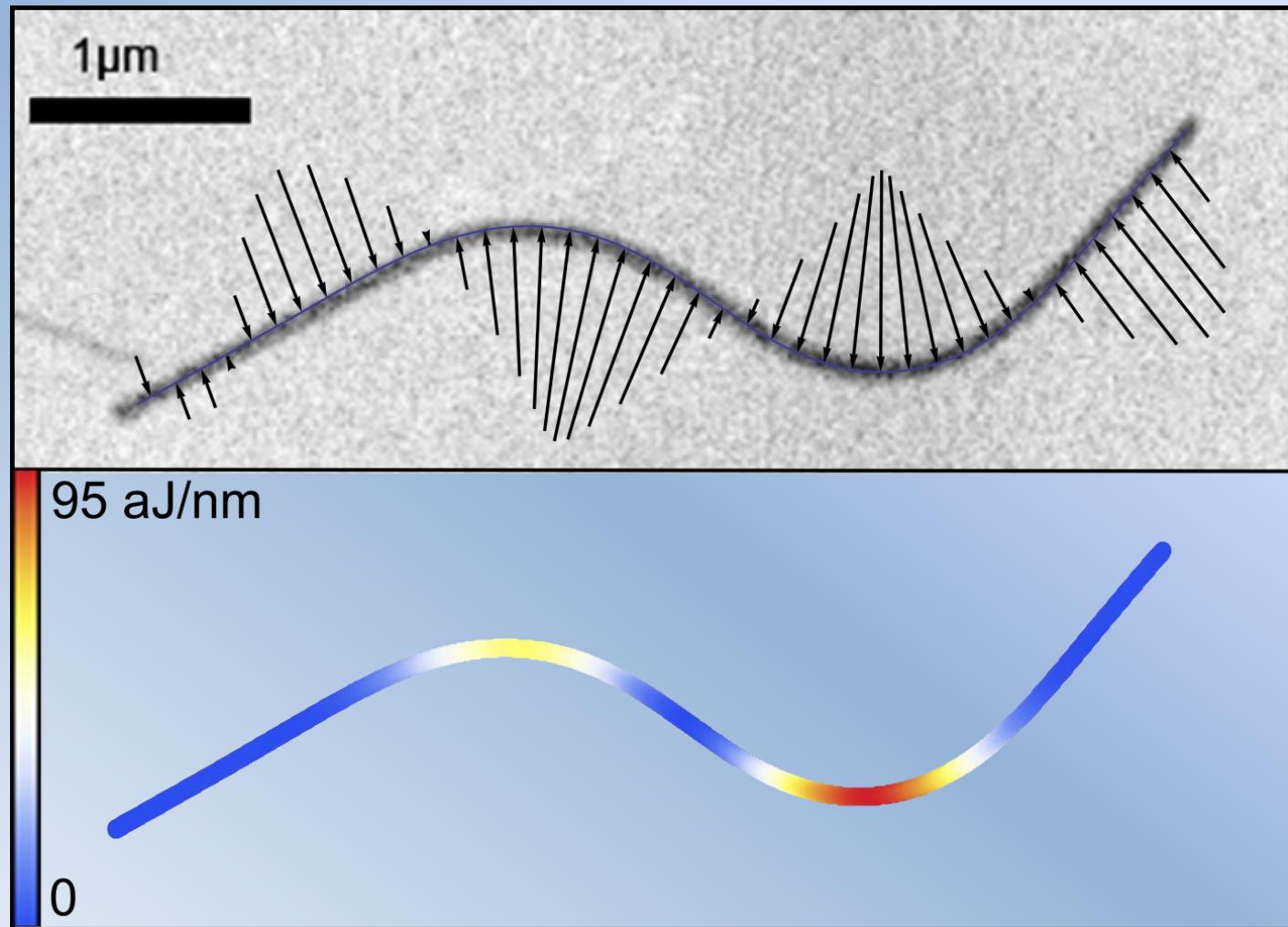


Nanotraadi lohistamine ☺

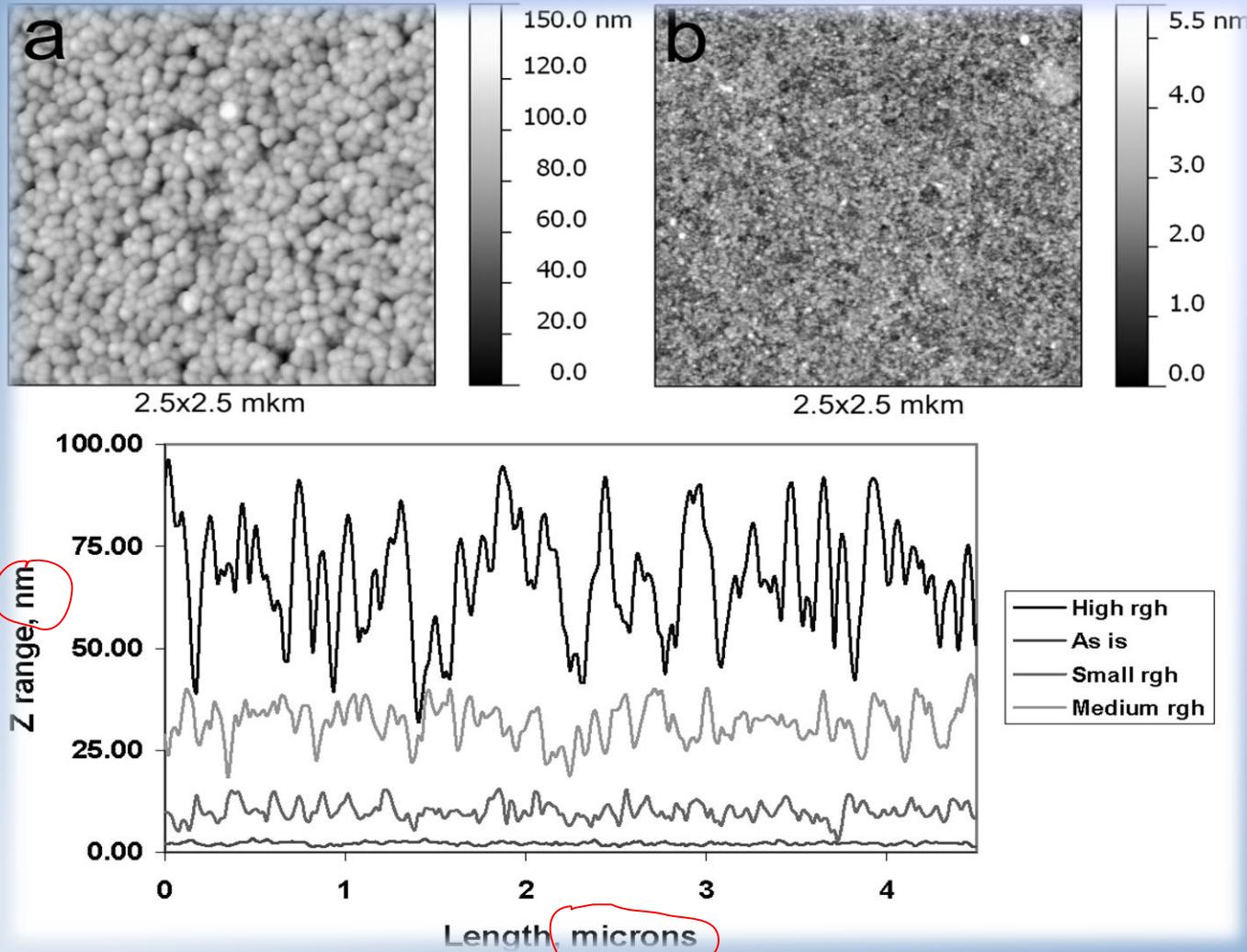
- Eksperimentaalselt manipuleeritud nanotraadid:
 - Nanotraati lohistati keskpunktist.
 - Kuju stabiliseerus ühel hetkel.
 - Traadisiseste elastsusjõudude ja kineetilise hõõrdejõu tasakaal!
- Analüüs baseerub elastse tala teoorial.
- ZnO kineetiline hõõrdumine räni pinnal:
 - Keskmine $\sigma_{kin} = 2.9 \text{ MPa}$

Staatilise hõõrdejõu jaotus

- Staatilise hõõrdejõu jaotus
- Elastsusenergia jaotus

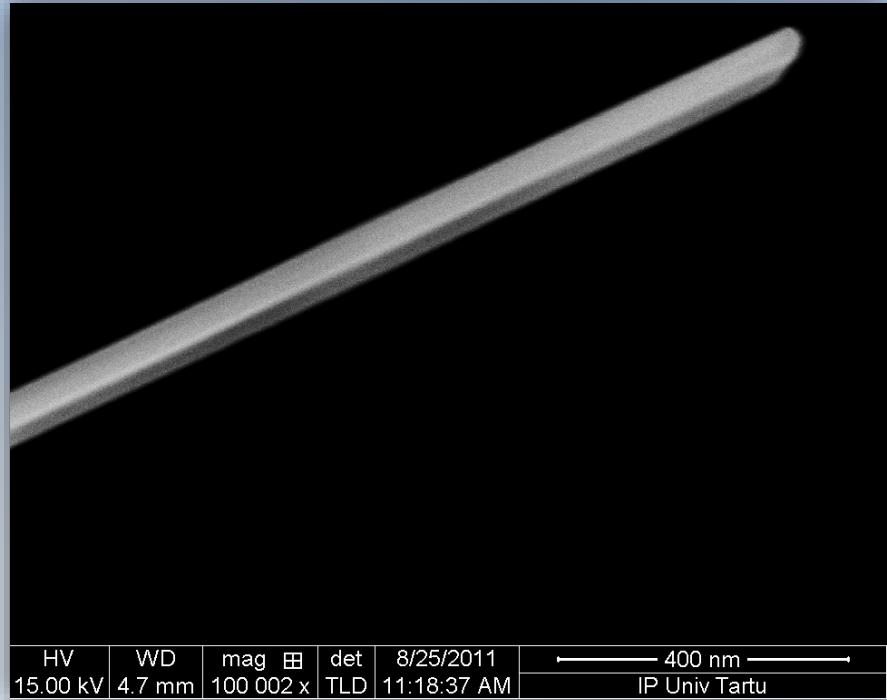


Pinnakareduse mõju hõõrdejõule

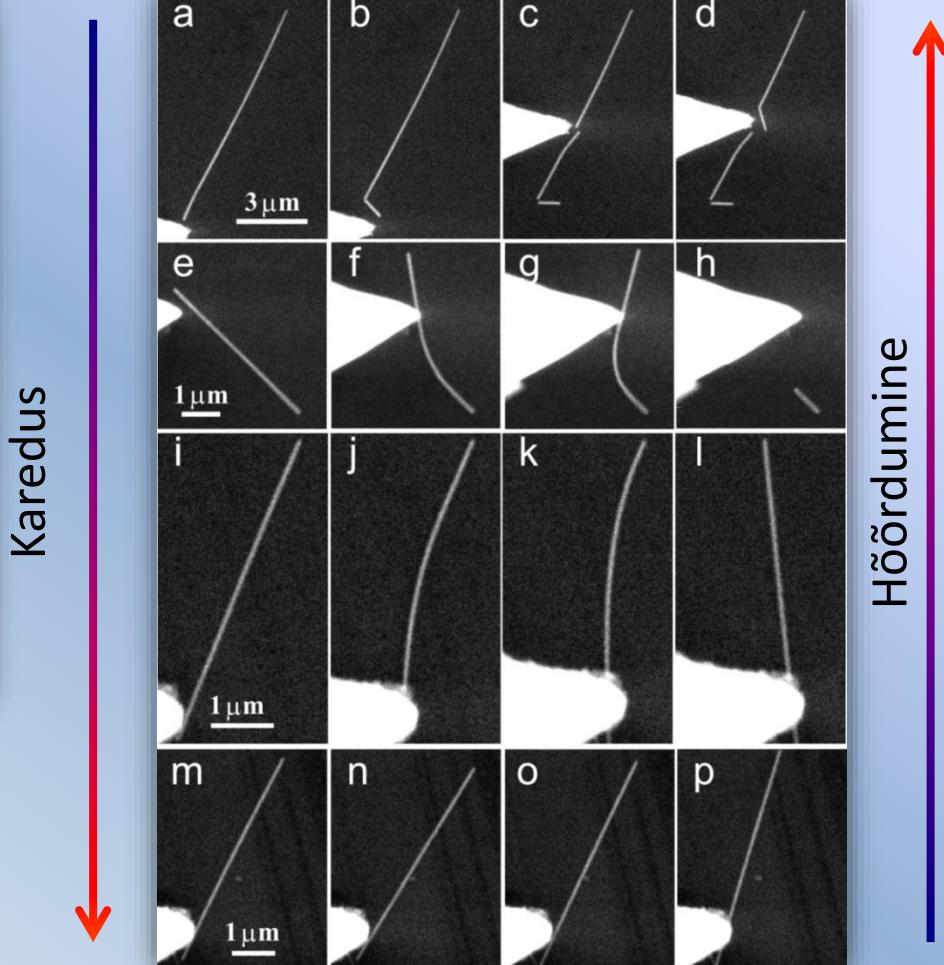


- Räni substraadid kaetud amorfse räniga, keemiliselt töödeldud pinnad erineva kareduse saavutamiseks.
- AFM pilt suure karedusega (a) ja töötlemata (b) pindadest.
- AFM profiilid erineva karedusega pindadest(c).

Pinnakareduse mõju hõõrdejõule

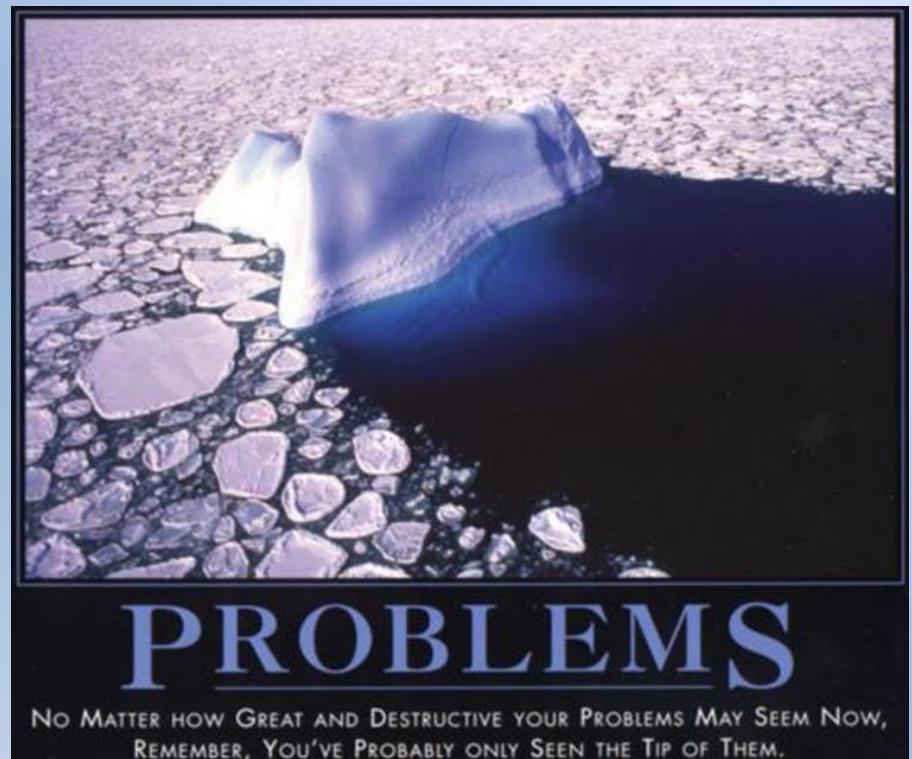


- CuO nanotraadid erineva karedusega räni pinnal.
- Tohutu hõõrdejõu sõltumine nanokaredusest.



Nanotulemused

- Alates 2008 aastast on avaldatud 17 kõrgetasemelist publikatsiooni, sh. hiljuti Nano Letters'is
- Osaletakse Cost MP1303 programmis: „Understanding and Controlling Nano and Mesoscale Friction“ Eesti esindajad Rünno Lõhmus ja Sergei Vlassov



Küsimus?

SCIENTISTS



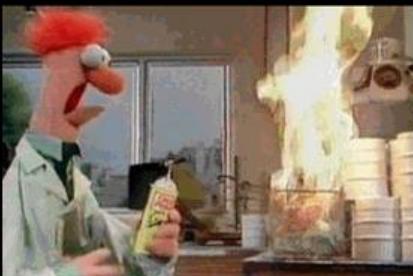
what my mom
thinks I do



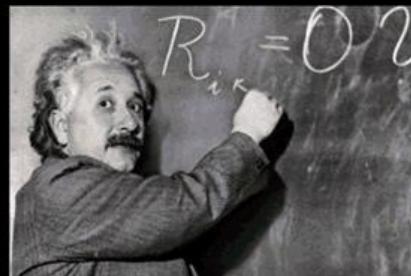
what my friends
think I do



what society
thinks I do



what my boss
thinks I do



what I think
I do



What I really
do

Aitäh kannatliku kuulamise eest!