

Jaunu čukstošās galerijas modu mikrorezonatoru izstrāde
optisko frekvenču standartu un biosensoru
pielietojumiem, un to raksturošana ar femtosekunžu
optisko frekvenču ķemmi

Projekta 7. atskaite par paveikto periodā 01.09.2018.- 30.11.2018.

I. Brice
A. Atvars
R. Viter.
J. Alnis

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

ERAF projekts Nr. 1.1.1.1/16/A/259

Par projektu

- **Projekta nosaukums:** Jaunu čukstošās galerijas modu mikrorezonatoru izstrāde optisko frekvenču standartu un biosensoru pielietojumiem, un to raksturošana ar femtosekunžu optisko frekvenču ķemmi.
 - **Projekta numurs:** 1.1.1.1/16/A/259
 - **Projekta mērķis:** jaunu zināšanu-zinātības iegūšana CGM rezonatoru izstrādē, stabilizēšanā un modelēšanā, un rezonatoru izmantošanā biomolekulu detektēšanai, tādējādi atbalstot Latvijas Viedās specializācijas mērķu sasniegšanu, zinātnes un tehnoloģiju cilvēkkapitāla attīstību un jaunu zināšanu radīšanu tautsaimniecības konkurētspējas uzlabošanai.
- **Projekta vadītājs:** J. Alnis
 - **Projekta administratīvais vadītājs:** I. Brice
 - Projektu realizē LU ASI Kvantu optikas laboratorija
- **Plānotie projekta galvenie rezultāti:**
4 publikācijas, 3 zinātību apraksts,

1 licences līgums.
 - Paredzēti 9 konferenču apmeklējumi un 6 zinātniskās vizītes
 - **Projekta īstenošanas laiks:**
01.03.2017. - 30.08.2019.

Projekta dalībnieku kopbilde 2017. g. aprīlī LU ASI.

Projekta darbinieki



- **Vadošie pētnieki**

- Dr. J. Alnis
- Dr. A. Atvars
- Dr. R. Viter

- **Zinātniskie asistenti**

- Grāda pretendente I. Brice

- **Laboranti**

- K. Grundšteins
- B. Sc. D.Dambergā
Dr. Hab. Phys. U. Bērziņš
- meklējam darbinieku,
pieteicās 3.kursa fiziķis
Roberts Berķis

Losandželosas zinātniskās vizītes laikā 2018.g. aprīlī



Projekta budžets

- Projekta kopējās izmaksas: 648 252,61 EUR,
to skaitā ERAF finansējums (85%) - 551 014,72 EUR.
 - Izdevumi MP1 - 33 108.93 EUR
 - Izdevumi MP2 - 46 967.37 EUR
 - Izdevumi MP3 - pieprasīti 50 218.34 EUR/
apstiprināti 50 168.34 EUR
 - Izdevumi MP4 - 19 164.77 EUR
 - Izdevumu MP5 - 38 392.16 EUR
 - Izdevumu MP6 - 84 367.70 EUR
 - Izdevumi MP7 77 215.95 EUR
 - **iesniegti izdevumi MP8 34 725.76 EUR**
Netiešās izmaksas 6 945.21 EUR, algas 20 769.95 EUR,
komandējumi 231.50 EUR, ieguldījums natūrā
7 010.60 EUR

Iepirkumi

- Comsol datorprogrammas iepirkums (izpildīts).
- Materiālu iegādes iepirkums 1 (izpildīts).
- Instrumentu nomas iepirkums (izpildīts).
- **Materiālu iegādes iepirkums 2 (tiek slēgti līgumi).**

Konferences un vizītes

- **Northern Optics & Photonics 2018 12-14 Sept. 2018**

J. Alnis un A. Atvars

- Mutiskā prezentācija
- stenda referāts

- **2018. gada decembrī R. Viter un A. Atvars plānota vizīte uz Viļņas Universitātes, Ķīmijas fakultātes, Fizikālās ķīmijas katedru, lai tiktos ar A. Ramanaviča grupu.**

10th Optoelectronics and Photonics Winter School
NLP2019
NONLINEAR PHOTONICS
20 - 26 January, 2019
 Andalo - Trento (Italy)

I. Brice.
 A. Atvars
 Lektors T. Kippenberg

Spherical whispering gallery mode resonators covered by ZnO nanolayer

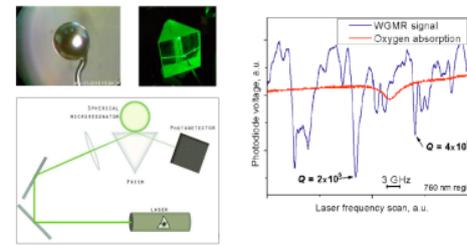
Aigars Atvars^{1*}, Roman Viter¹, Igor Iatsunskyi², Inga Brice¹, Karlis Grundsteins¹, Andra Pirkina¹, Haralds Baumanis¹, and Janis Alnis¹

¹Quantum Optics Laboratory, Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, University of Latvia, Raina Blv. 19, Riga, LV-1586, Latvia

²NanoBioMedical Centre, Adam Mickiewicz University, 85 Umultowska str., 61-614, Poznan, Poland

* Aigars.Atvars@lu.lv

Whispering gallery mode (WGM) resonators



Brice, I., Pirkina, A., Ubelis, A., Grundsteins, K., Atvars, A., Viter, R., Alnis, J. Development of optical WGM resonators for biosensors (2017) Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE, 10592, art. no. 1059208

Theory

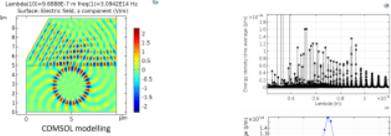
$$2\pi r n = \lambda N$$

$N = 1, 2, 3, \dots$

$$\Delta \nu = \frac{c}{2\pi r n}$$

$$\Delta \lambda \approx -\frac{\lambda^2}{2\pi r n}$$

r - radius of a circle
 n - refractive index of resonator
 λ - wavelength in a vacuum

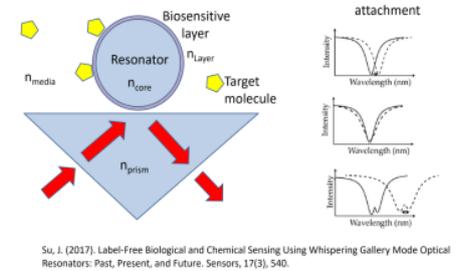


Quality factor (Q factor) $Q = \frac{\omega}{\Delta\omega} = \omega\tau$

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_{scat}} + \frac{1}{Q_{mat}}$$

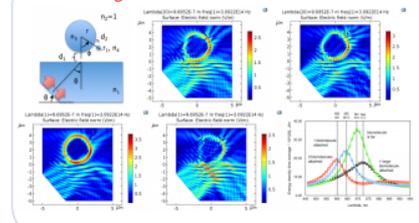
$\frac{1}{Q_{rad}}$ - radiative losses, $\frac{1}{Q_{scat}}$ - scattering losses on residual surface inhomogeneities,
 $\frac{1}{Q_{mat}}$ - losses due to surface contaminants and $\frac{1}{Q_{mat}}$ - material losses.

Bio-sensor principle



Su, J. (2017). Label-Free Biological and Chemical Sensing Using Whispering Gallery Mode Optical Resonators: Past, Present, and Future. Sensors, 17(3), 540.

Modelling of a biosensor



ZnO covered microresonator

Motivation: ZnO layer as a base for bioselective layer

Atomic layer deposition (ALD) technique to cover resonators with ZnO

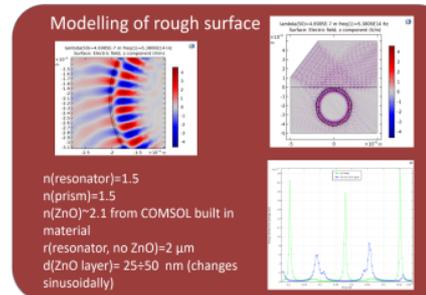
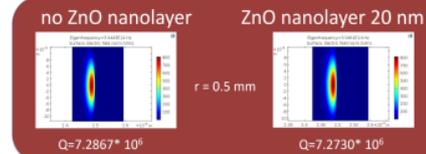
SEM 50 nm ZnO layer

ZnO coating:

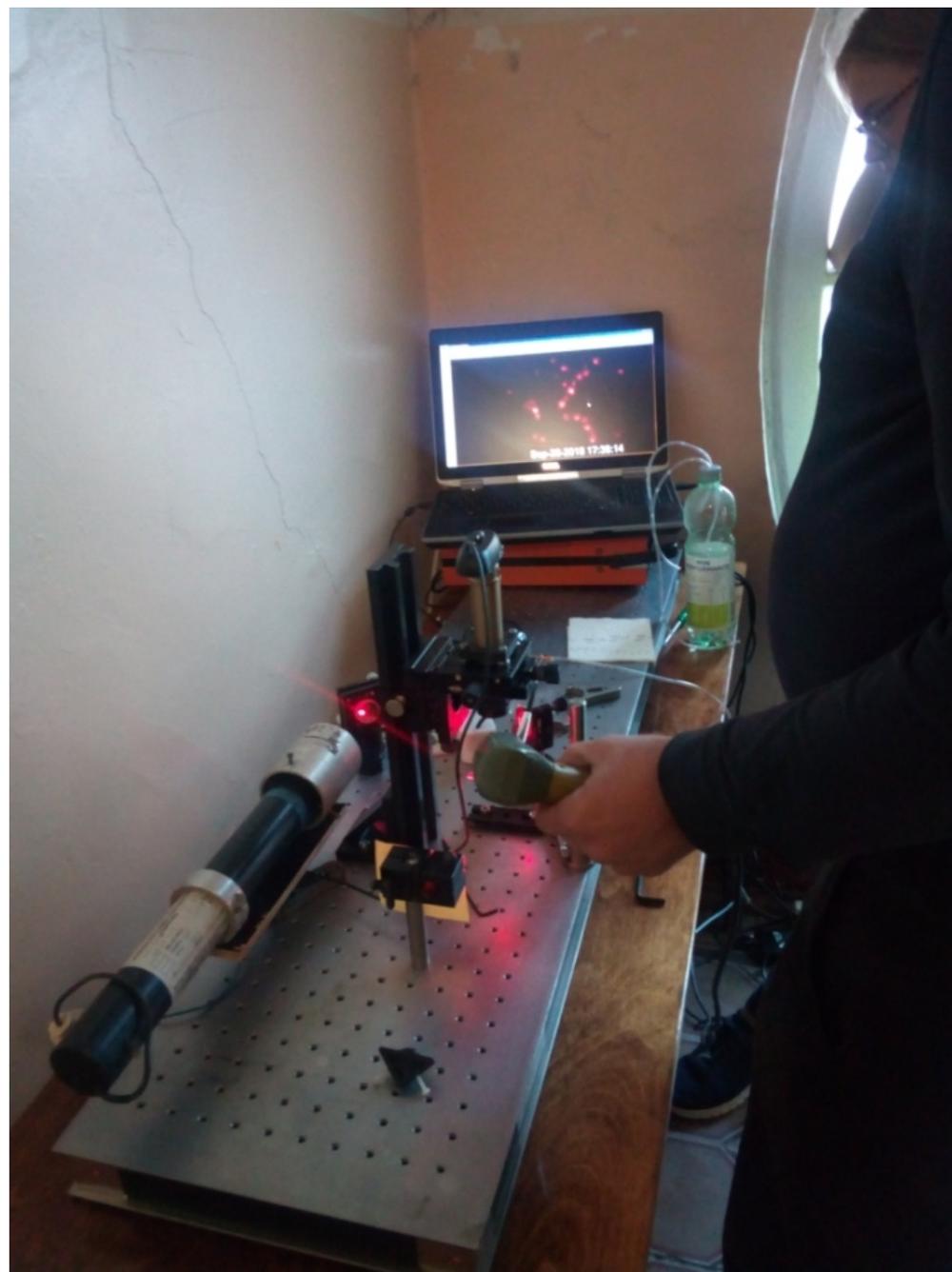
- Transparent and conformal coating
- High refractive index ($n \approx 1.96$, 760 nm)
- Controlled thickness (5, 10, 20, 50 and 100 nm layers)
- Not used before as a coating for WGM resonators

Observations:

- Q factors of resonators decrease as ZnO layer is introduced;
- Maximal Q-factor is obtained when ZnO layer thickness is about 20 nm;
- Van Der Waals force between resonator and prism becomes weaker when resonators are covered by ZnO



Eiropas zinātnieku nakts laikā LU ASI veicināta projekta publicitāte



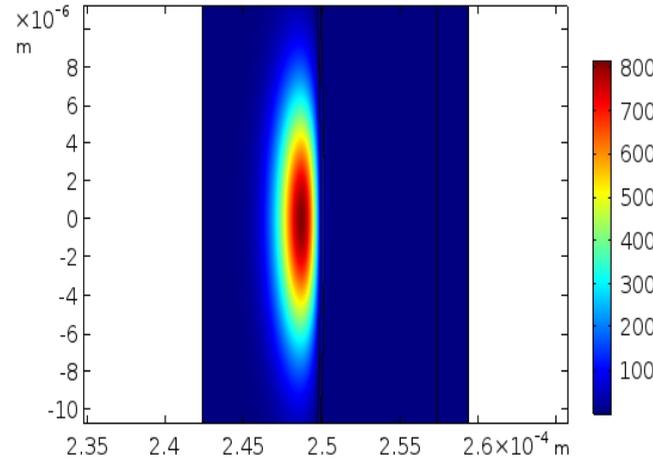
Vidusposma atskaite

- 30.11.2018. iesniegta projekta vidusposma atskaite

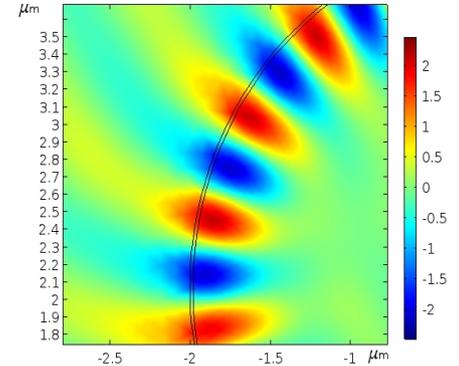
Publikācijas gatavošana par ČGM modelēšanu

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_{s.s.}} + \frac{1}{Q_{cont}} + \frac{1}{Q_{mat}}$$

Eigenfrequency=3.9461E14 Hz
Surface: Electric field norm (V/m)



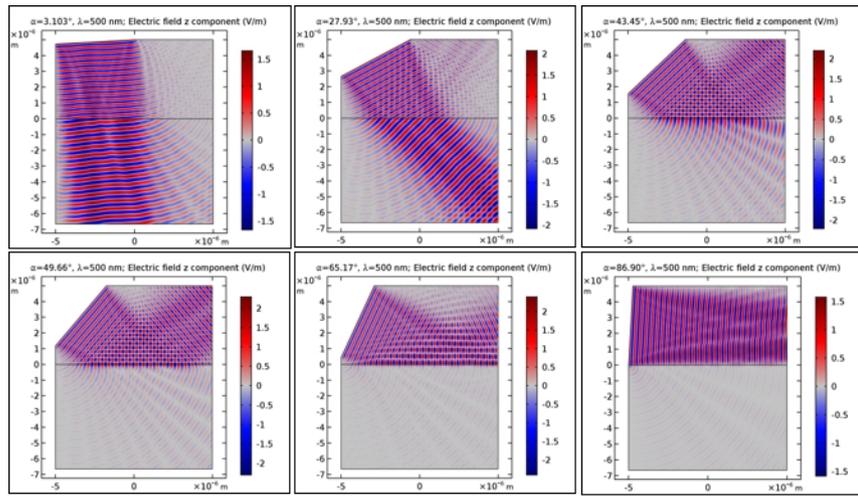
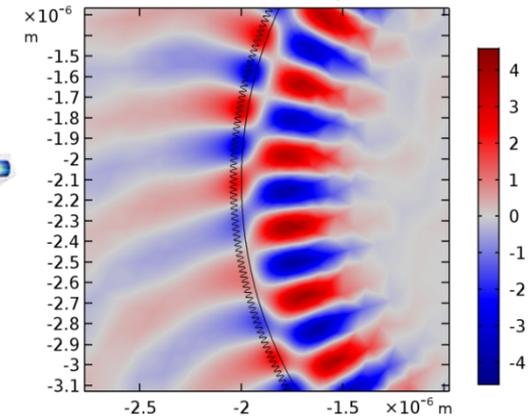
Lambda(54)=8.1417E-7 m freq(1)=3.6822E14 Hz
Surface: Electric field, z component (V/m)



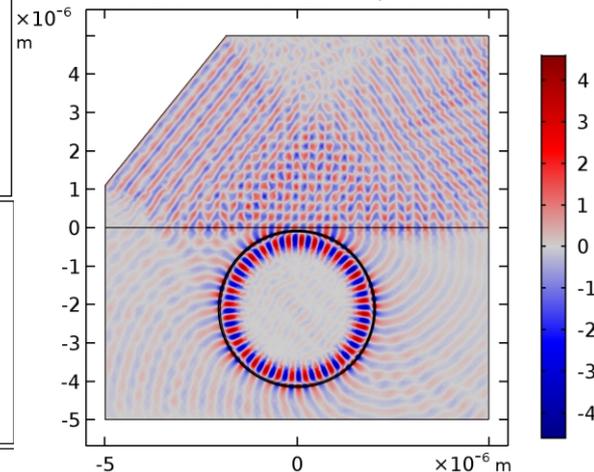
$$Q_{s.s.} = \frac{\lambda^2 D}{2\pi^2 \sigma^2 B'}$$

$$Q_{rad} \cong x e^{2(l+1/2)g\left(\frac{x}{l+1/2}\right)},$$

lambda(50)=4.6985E-7 m freq(1)=6.3806E14 Hz
Surface: Electric field, z component (V/m)

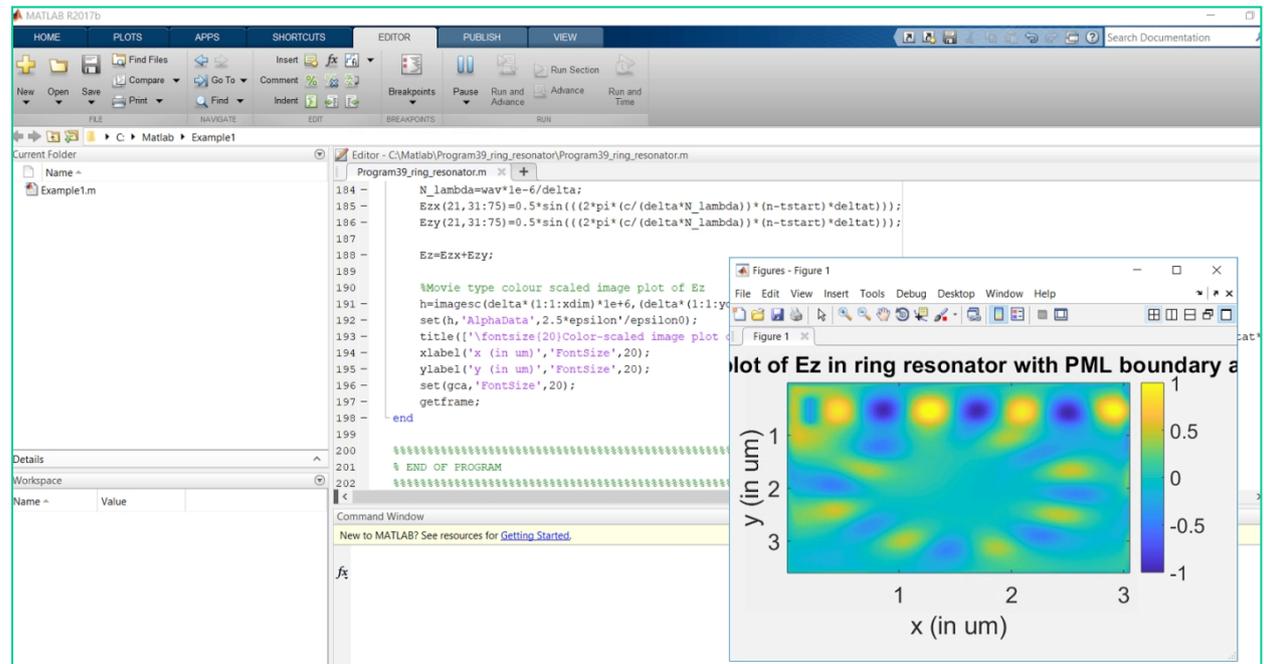
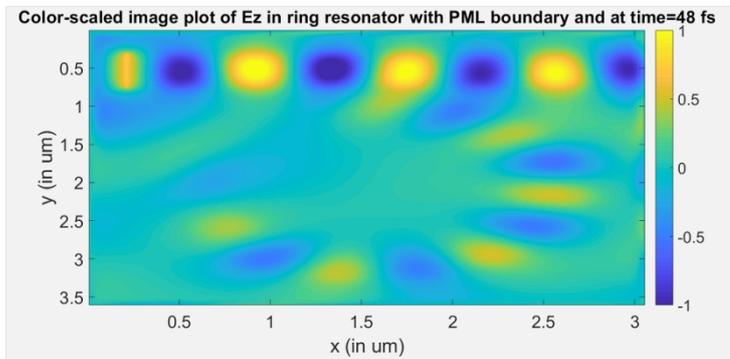
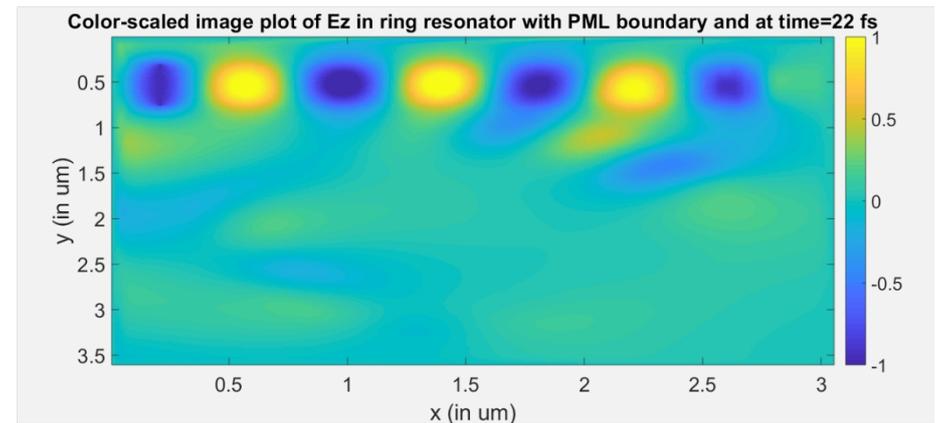
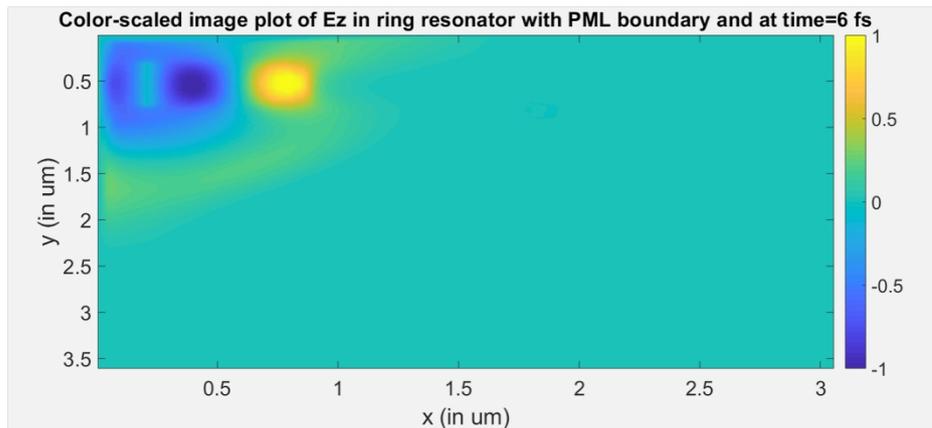


lambda(50)=4.6985E-7 m freq(1)=6.3806E14 Hz
Surface: Electric field, z component (V/m)



ČGM rezonatoru modelēšana ar MATLAB

Signāla izplatīšanās laikā (analizēts programmas paraugs)



The screenshot displays the MATLAB R2017b environment. The Editor window shows the following code:

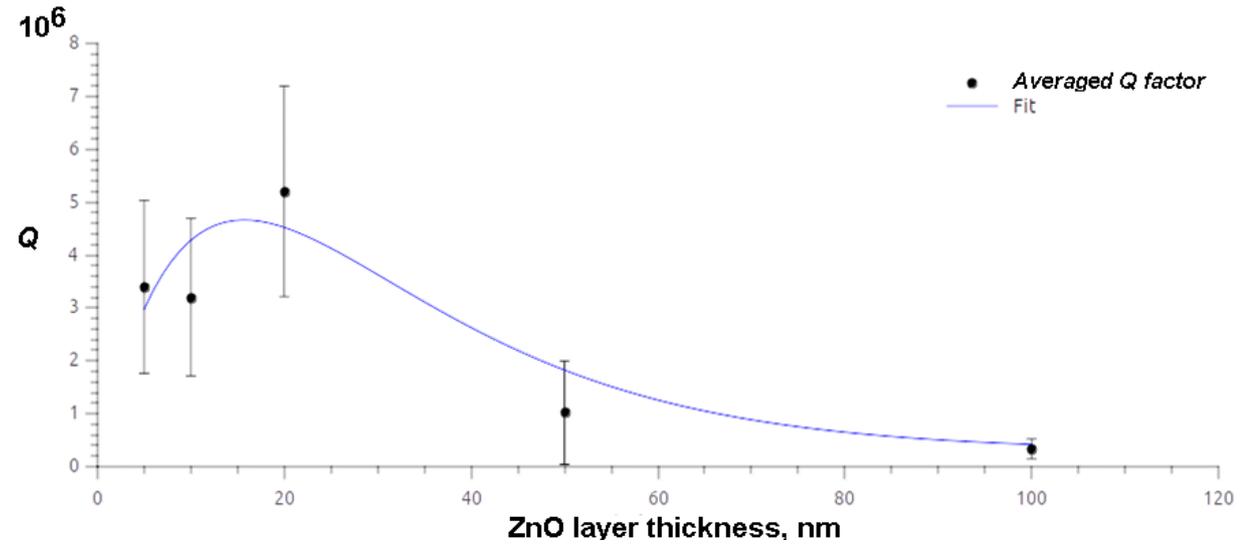
```
184 - N_lambda=wav*le-6/delta;  
185 - Ezx(21,31:75)=0.5*sin(((2*pi*(c/(delta*N_lambda))*(n-tstart)*deltat)));  
186 - Ezy(21,31:75)=0.5*sin(((2*pi*(c/(delta*N_lambda))*(n-tstart)*deltat)));  
187 -  
188 - Ez=Ezx+Ezy;  
189 -  
190 - %Movie type colour scaled image plot of Ez  
191 - h=imagesc(delta*(1:1:xdim)*le+6,(delta*(1:1:yd  
192 - set(h,'AlphaData',2.5*epsilon'/epsilon0);  
193 - title('FontSize(20)Color-scaled image plot  
194 - xlabel('x (in um)', 'FontSize',20);  
195 - ylabel('y (in um)', 'FontSize',20);  
196 - set(gca,'FontSize',20);  
197 - getframe;  
198 -  
199 -  
200 -  
201 - % END OF PROGRAM  
202 -
```

The Command Window shows the message: "New to MATLAB? See resources for Getting Started."

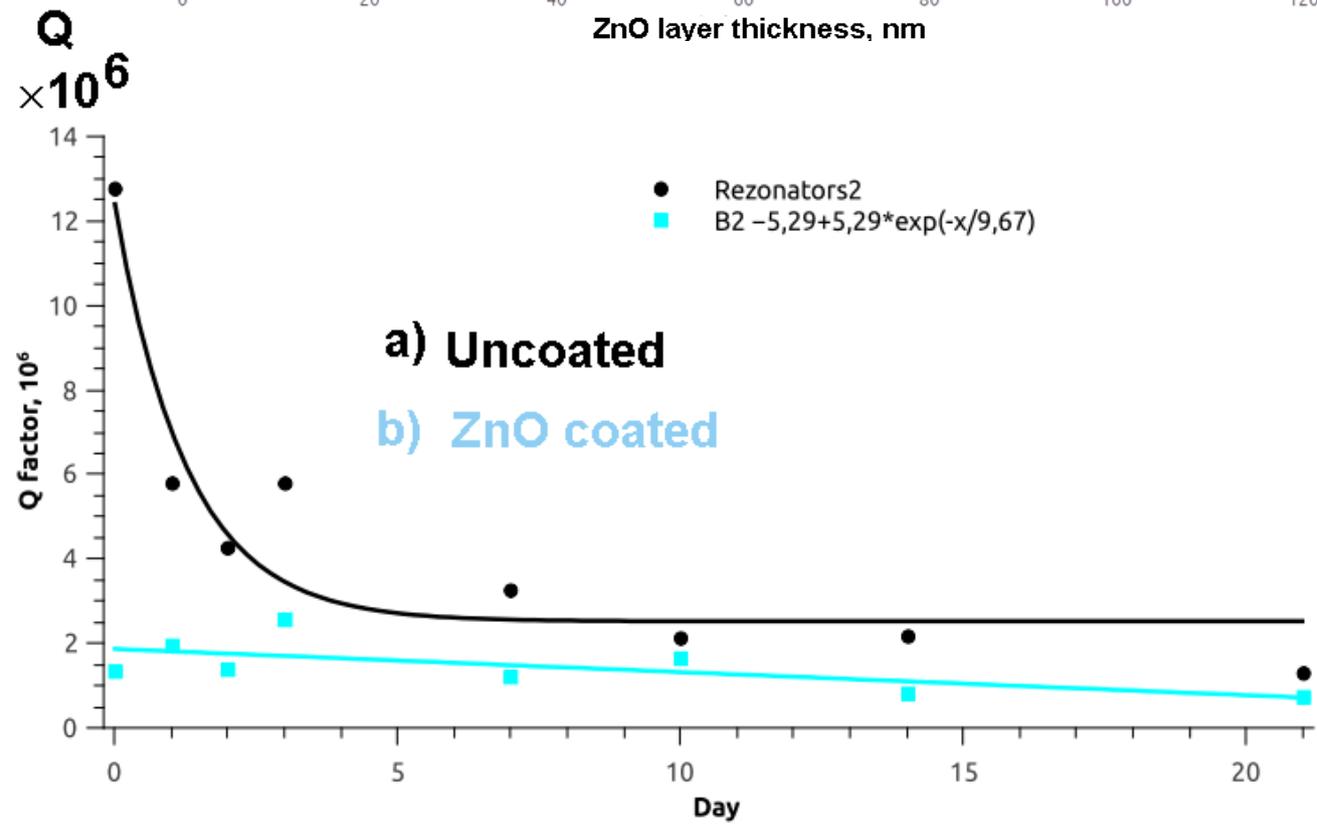
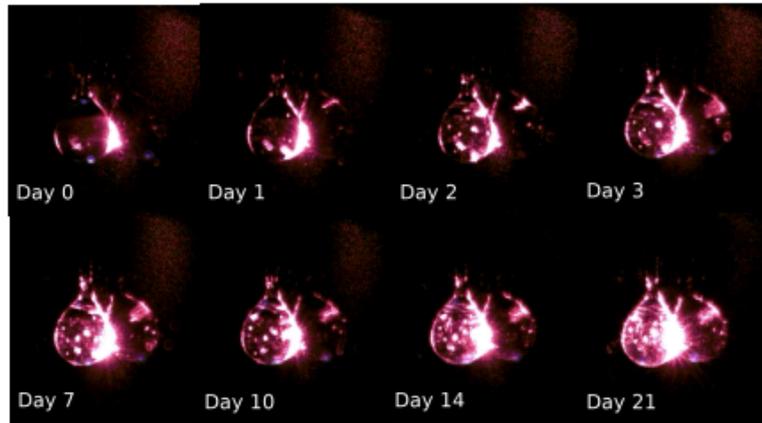
The Figures window shows a preview of the output plot, which is a color-scaled image plot of Ez in ring resonator with PML boundary and at time=48 fs. The plot shows four bright spots at approximately x=0.8, 1.8, 2.8, and 3.8, y=0.8. The x-axis ranges from 0 to 3.5, and the y-axis ranges from 0 to 3.5. A color bar on the right indicates values from -1 to 1.

Ar ZnO pārklāti rezonatori

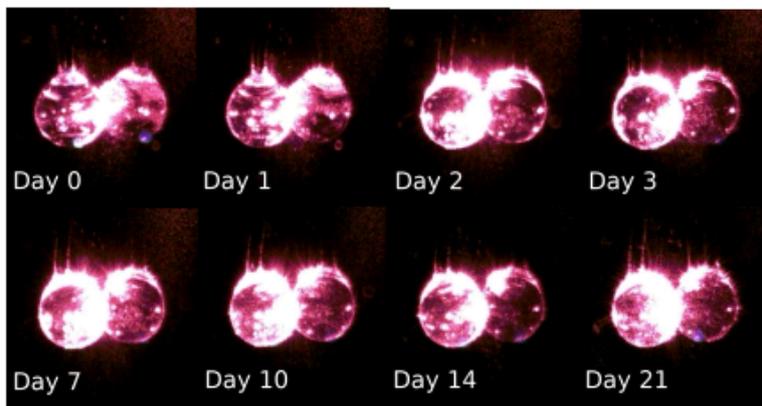
Publikācijas gatavošana



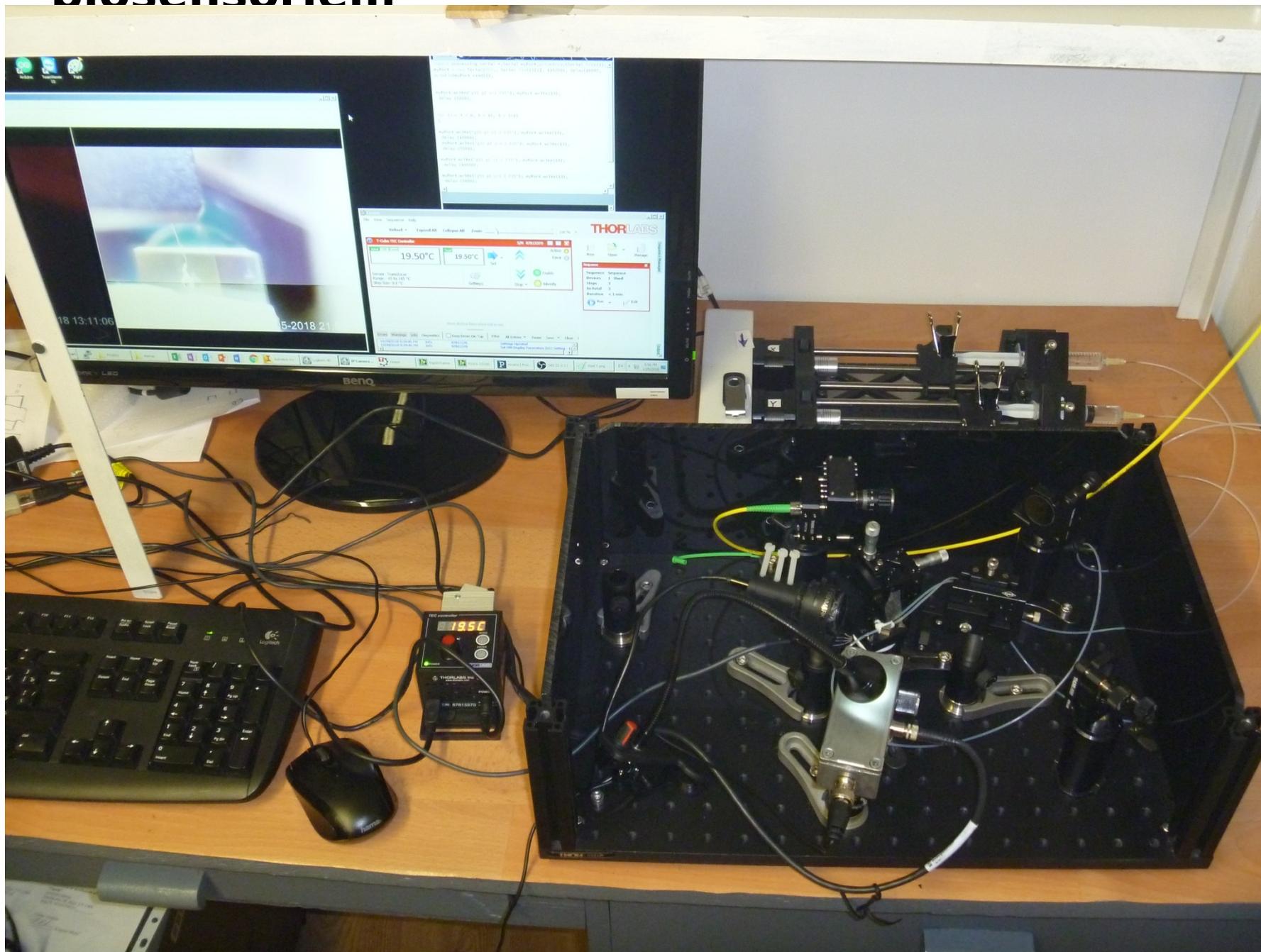
a)



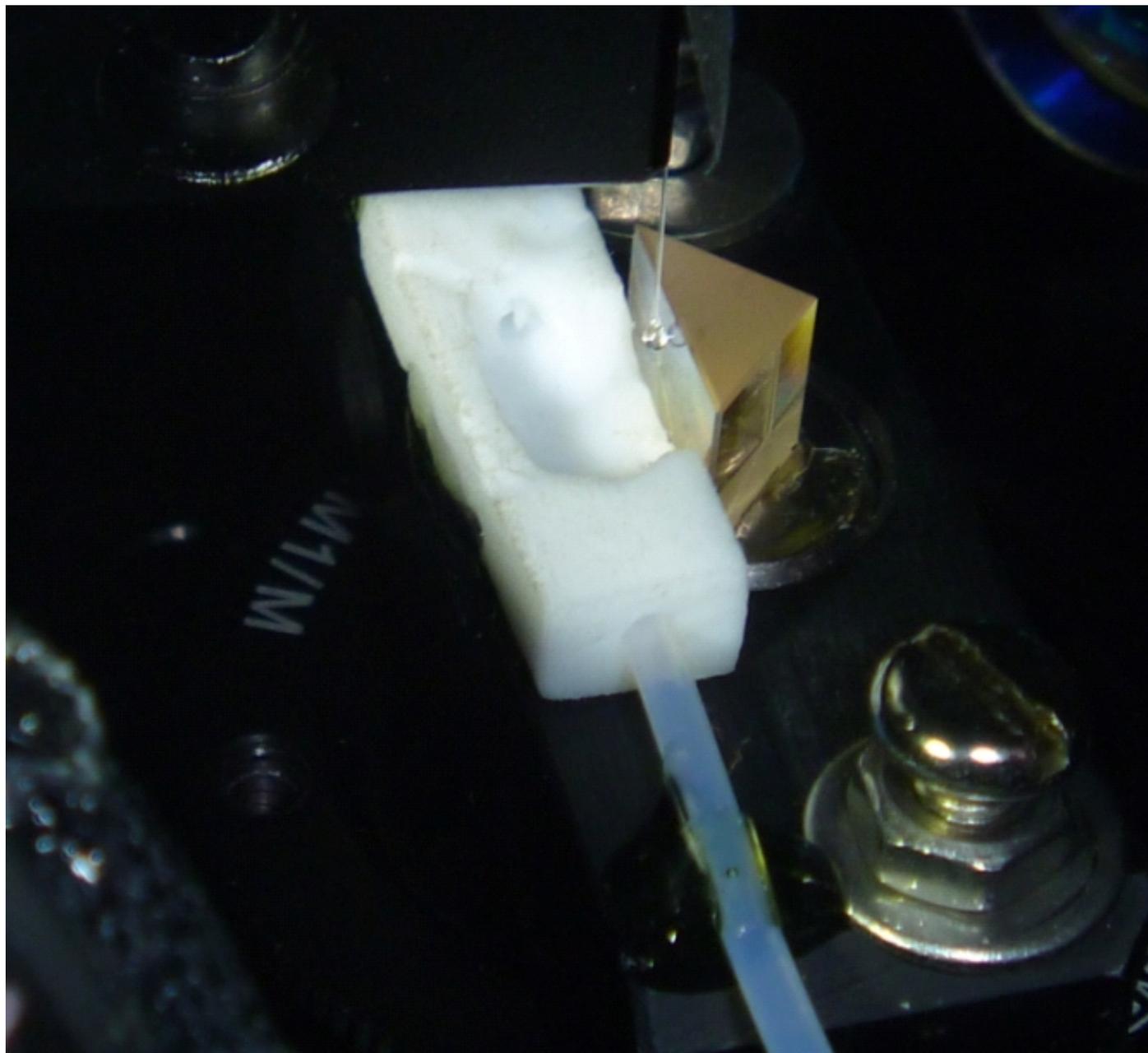
b)

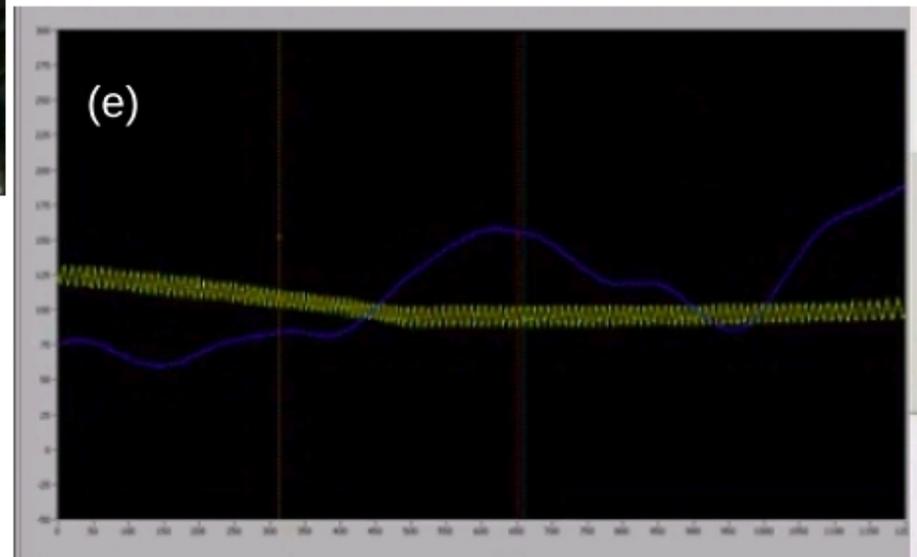
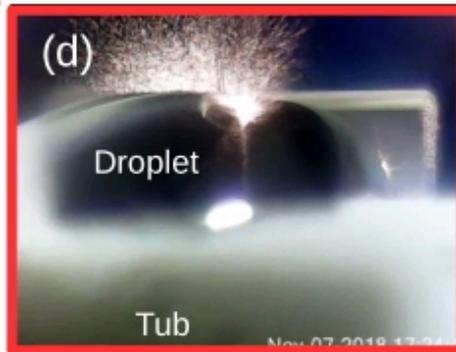
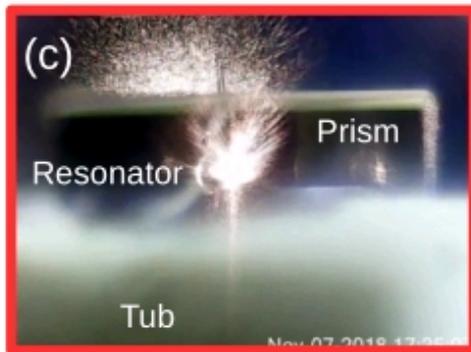
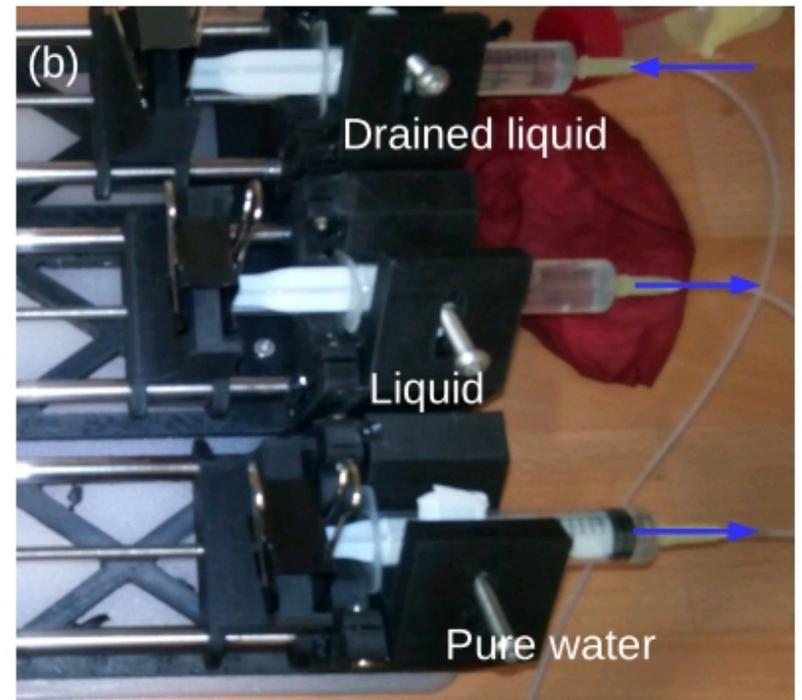
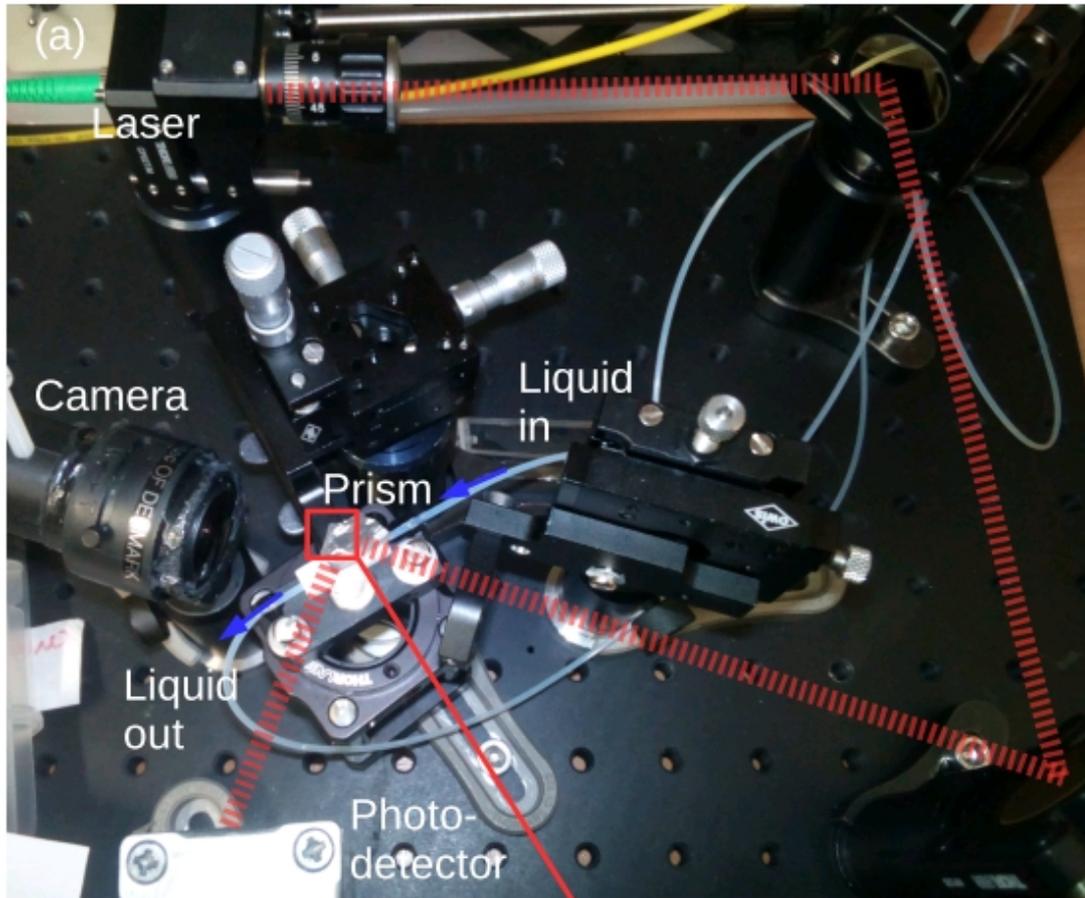


Prototipa izveide ČGMR mērījumiem šķidrumā biosensoriem



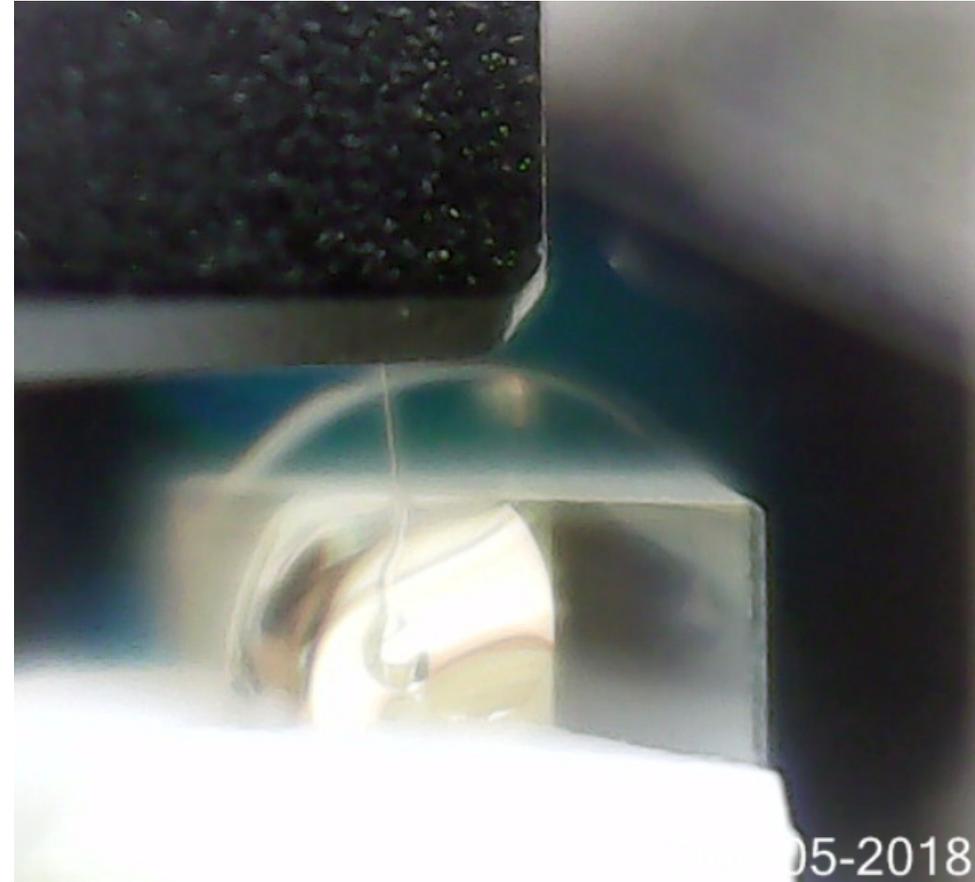
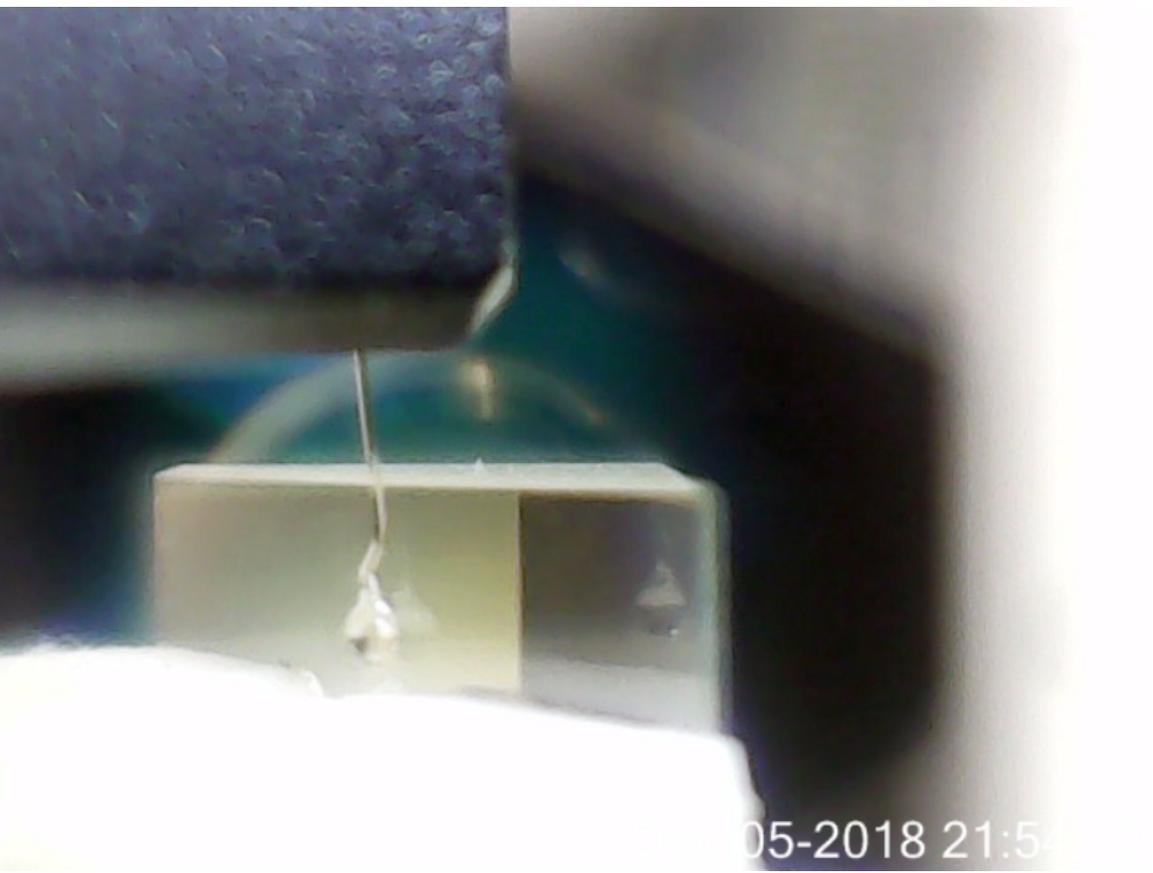
Mikrofluidikas vanna ar rezonatoru un prizmu





ČGMR pilienā

2. izgatavotā versija
mazāka teflona vanniņa
nepieciešamā mazāks šķidruma tilpums



Uzrakstīta mikrofluidikas šļirču automātiskas vadības programma ar G-code komandu standartu no Processing interpretatora vides.

```
P mixeris | Processing 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help

import processing.serial.*;Serial myPort;printArray(Serial.list());
myPort = new Serial(this, Serial.list()[2], 115200); delay(1000);
println(myPort.read());

myPort.write("g91 g1 x-1 F15"); myPort.write(13);
delay (5000);

for (int i = 0; i < 15; i = i+1)
{

myPort.write("g91 g1 z1.2 F35"); myPort.write(13);
delay (10000);
myPort.write("g91 g1 x-1.2 F35"); myPort.write(13);
delay (5000);

myPort.write("g91 g1 y1.2 F35"); myPort.write(13);
delay (10000);

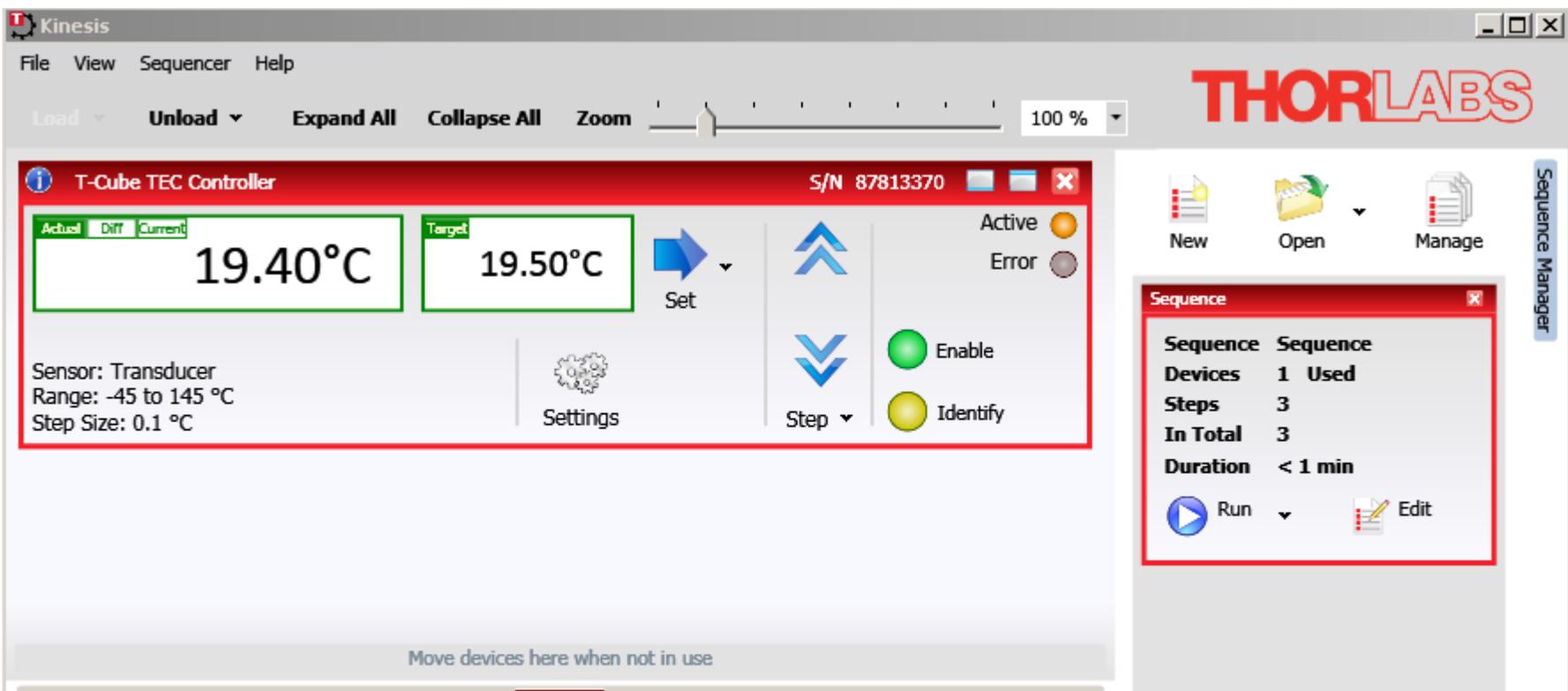
myPort.write("g91 g1 x-1.2 F35"); myPort.write(13);
delay (5000);

[0] "COM1"
```



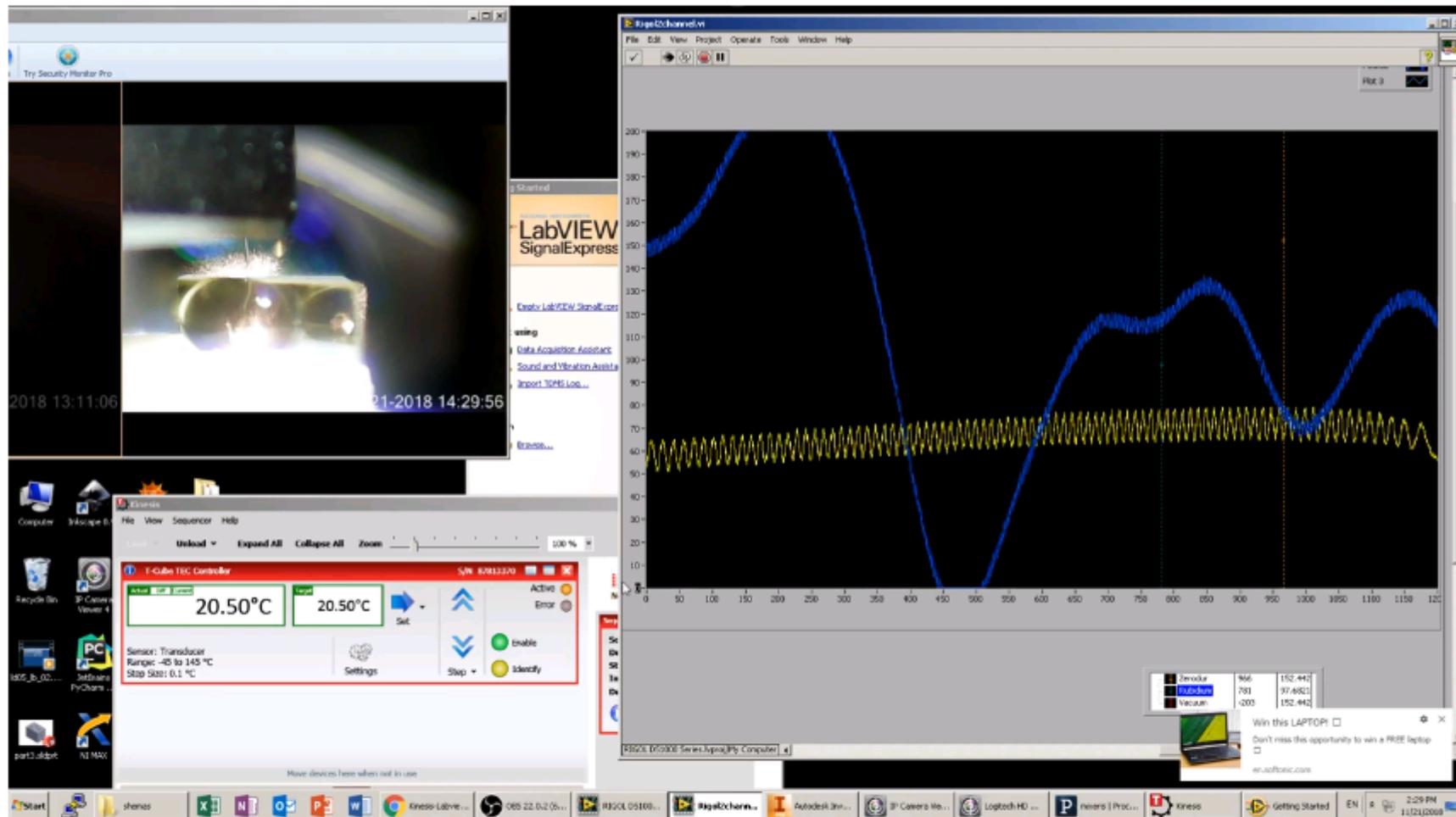
**ČGM Iodītes šķidrumā
temperatūras stabilizācija**
ar termoelektrisko Peltier
elementu
iespējams sildīt vai dzesēt

Nepieciešams iemācīties
izmainīt uzdoto temperatūru
automatizēti pa soļiem no
datora.



Eksperimenta datorekrāna videoieraksts mainot temperatūru par 1 grādu un uzpildot / iztukšojot vanniņu vairākas reizes.

Zilais signāls - ČGMR rezonanses,
dzeltenais - 50 MHz interferences etalona signāls frekvences skenēšanas kalibrēšanas



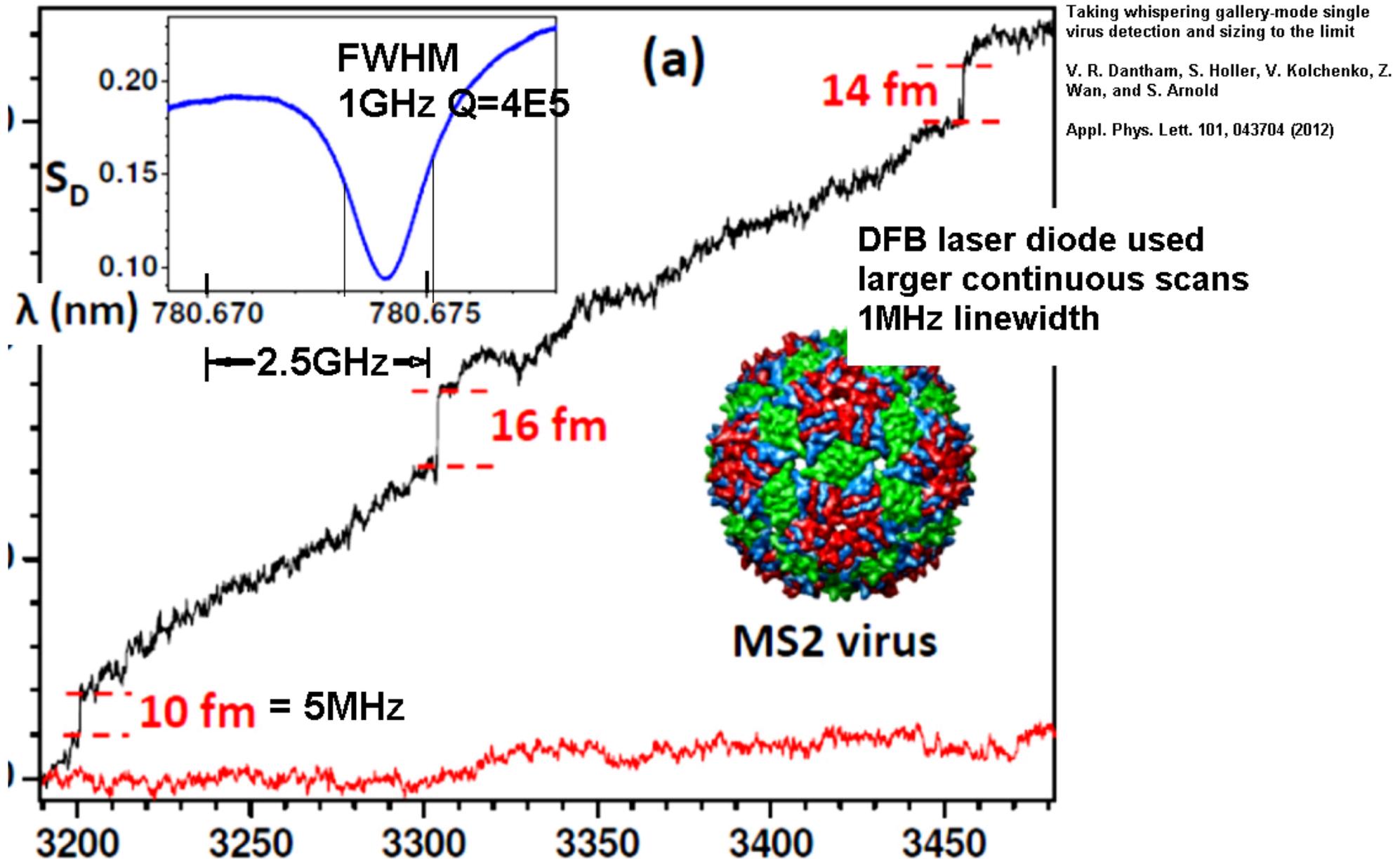
SiO2 microspheres WGMR resonator in a water bath.

No views



Janis Alnis
Published on Dec 5, 2018

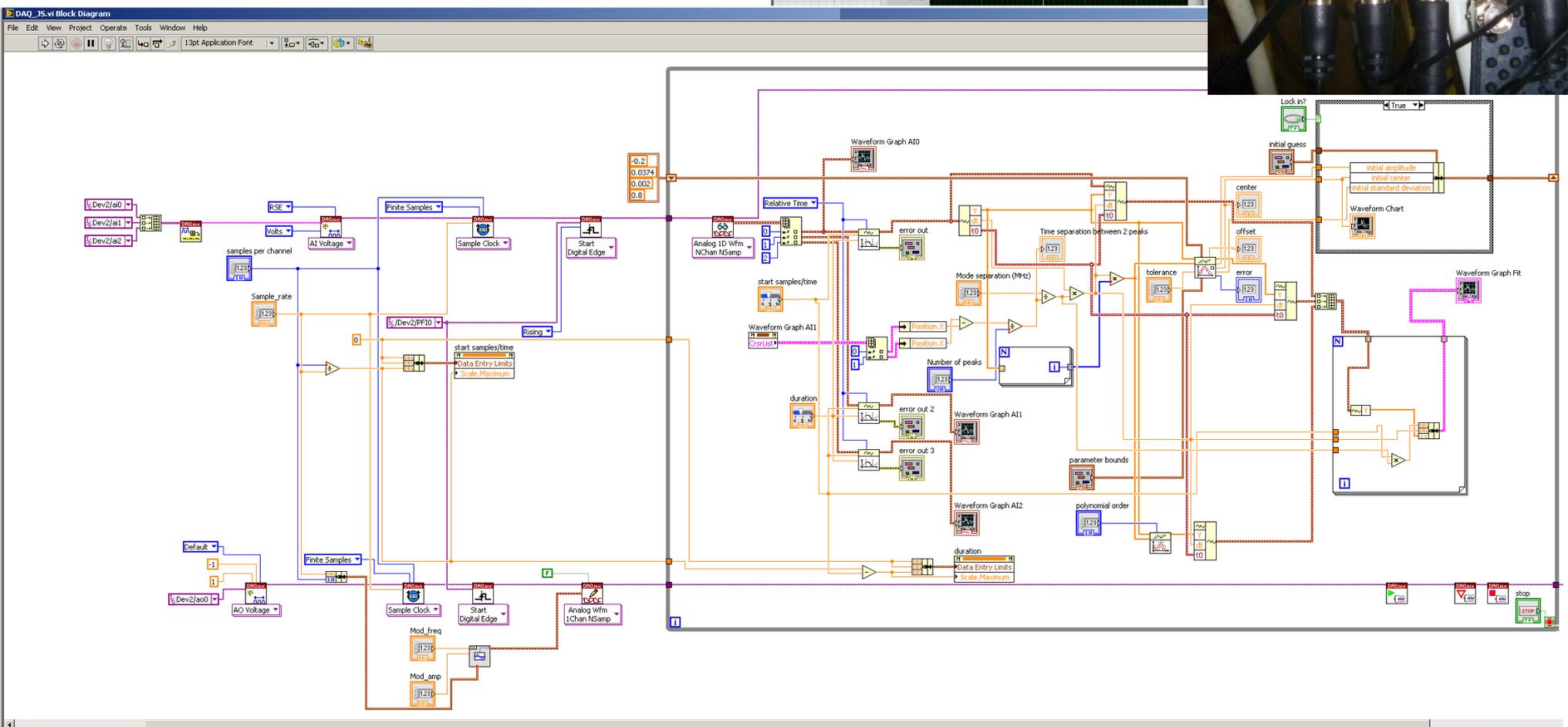
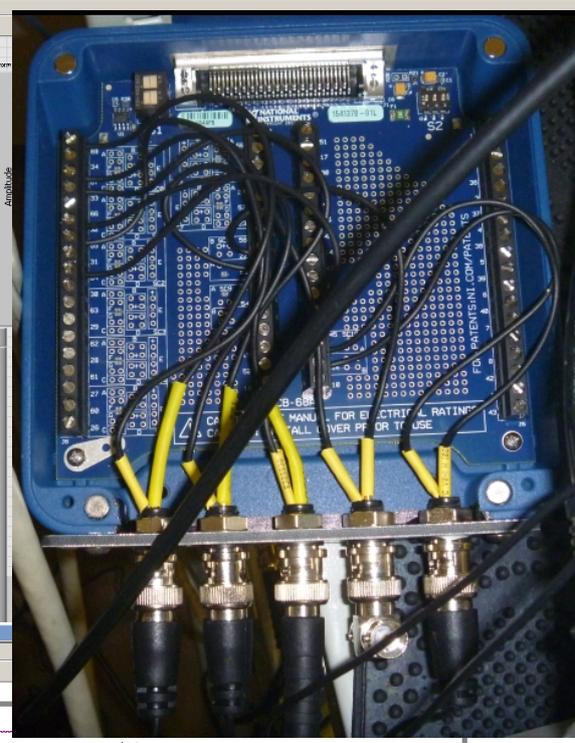
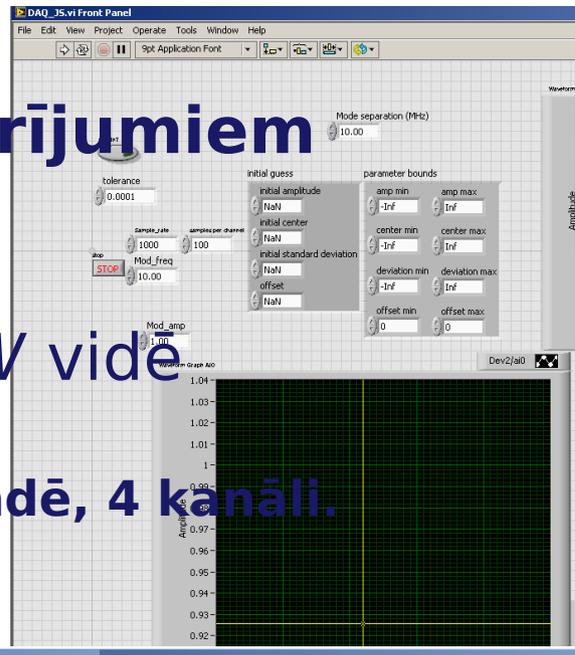
Nepieciešamība sekot līdz rezonanses pīķa nobīdei laikā



Rezonanšu maksimumu mērišanas programma mērijumiem reālā laikā

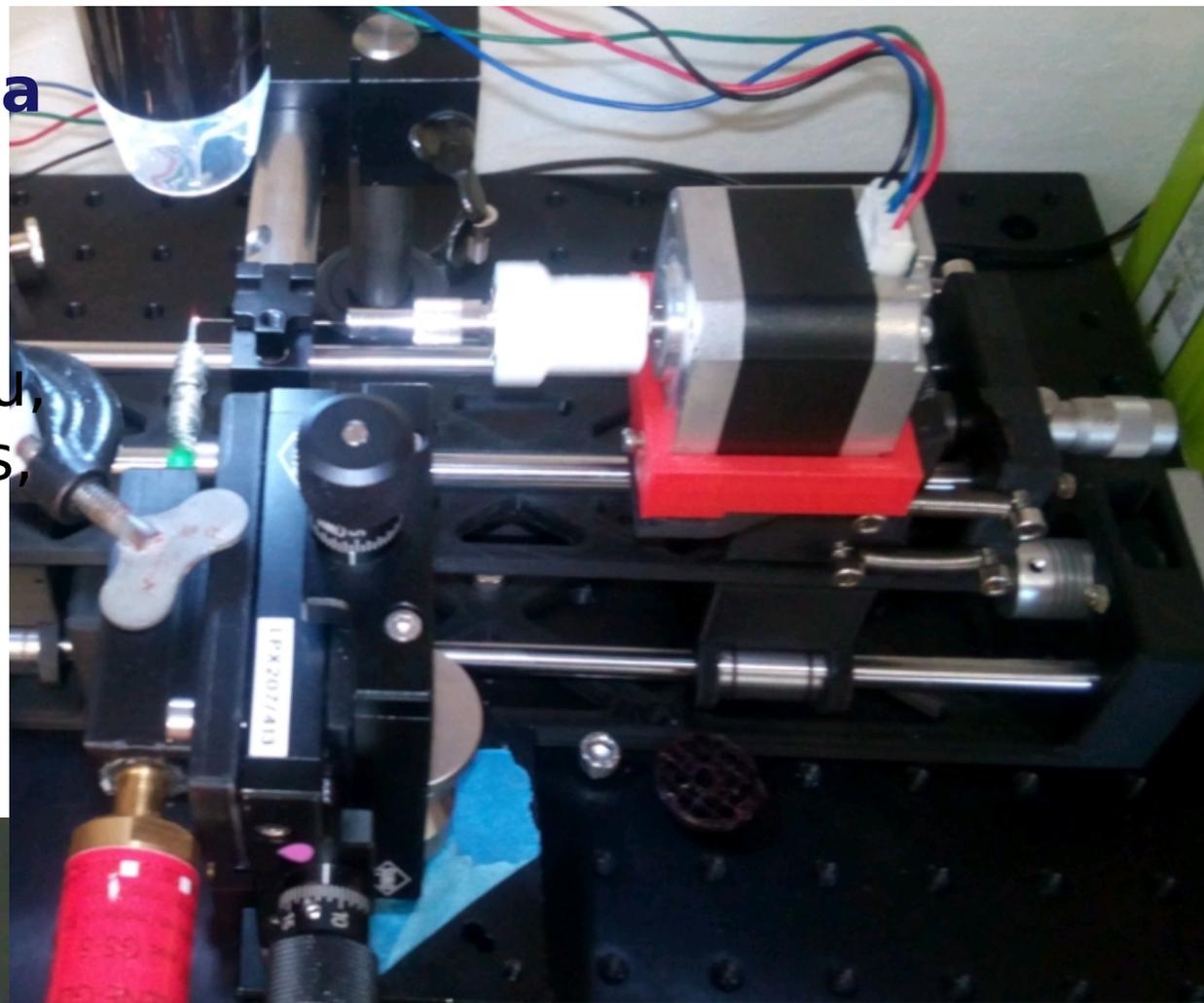
Tiek veidota grafiskajā *National Instruments LabVIEW* vidē

14 bitu ADC, 10kpunkti, 10 x sekundē, 4 kanāli.

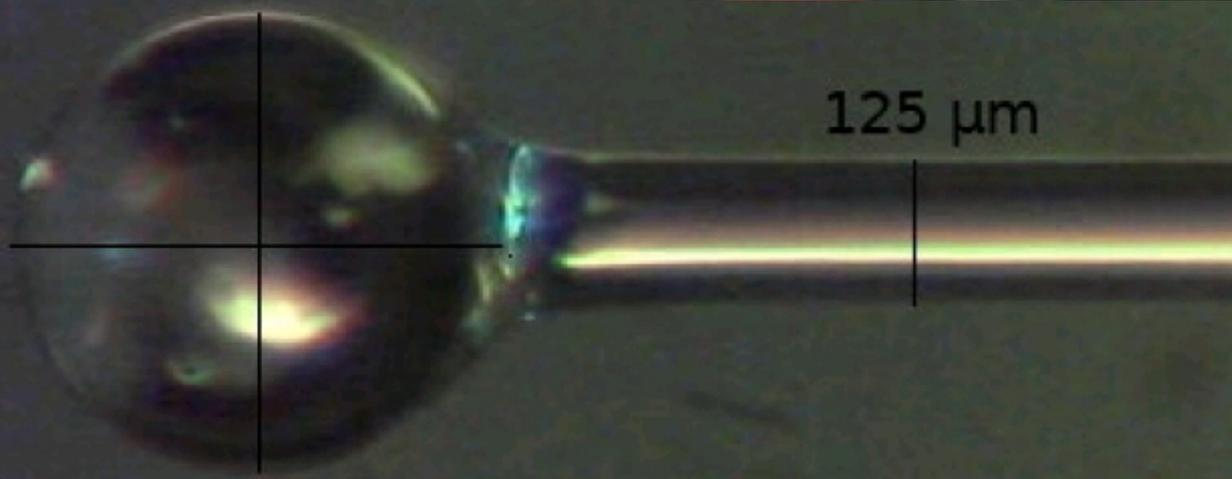


Rezonatoru kausēšana rotējot šķiedru

Iegūst labāku sfēriskumu, bet Q-faktors nav labāks, jo šķiedra sasmērējas no turētāja gumijas

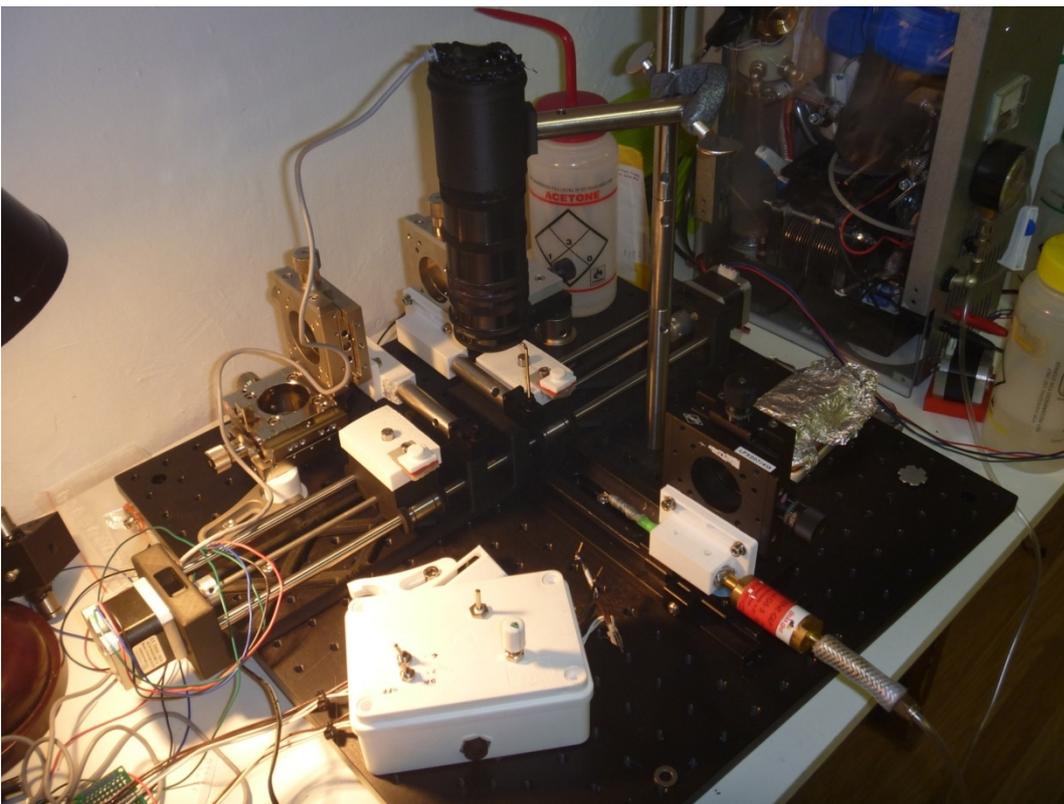
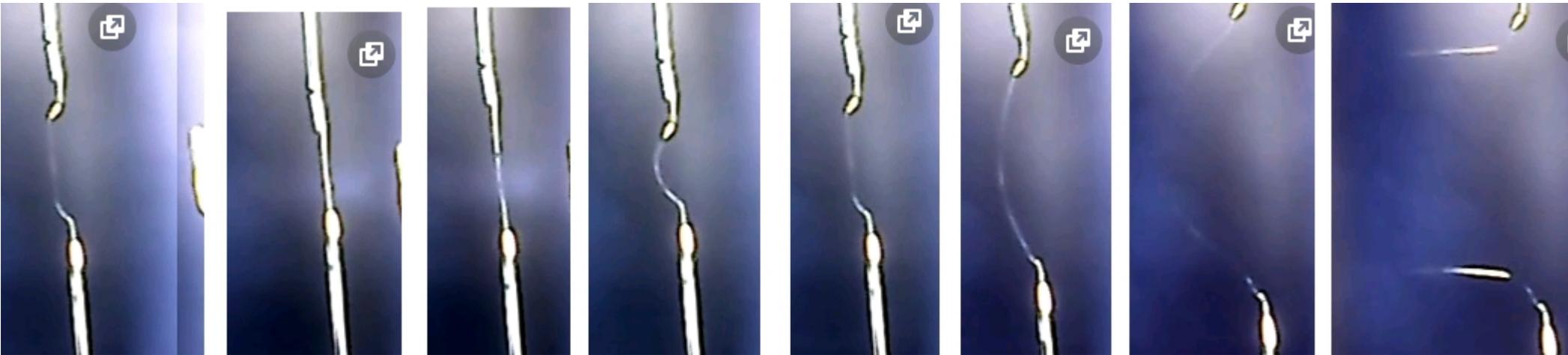


$d = 416 \mu\text{m}$ $\eta = 2.1 \%$



125 μm

Trapecveida šķiedras stiepšanas stenda pirmie rezultāti un uzlabošana



Trapecveida šķiedras stiepšanas izejmateriāls (vienmodas šķiedra 980 nm) un transmisijas diagnostika ar lāzerpointeri.

ČGM mikrorezonatora kausēšana ar CO₂ lāzeri
tagad izdodas samērā labi, apmēram 1s kausēšanas laiks, nav
piesārņojums no liesmas
nav noliekšanās no gāzes plūsmas, bet ir termiskā noliekšanās uz
karstākoko pusi.

