

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

Projekta 8. atskaite par paveikto periodā

01.12.2018.- 28.02.2019.

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.

Darbinieki

- Vadošie pētnieki
 - J. Alnis
 - A. Atvars
 - R. Viter
- Zinātniskie asistenti
 - I. Brice
- Laboranti
 - K. Grundšteins
 - **K. Draguns**
 - U. Bērziņš



Projekta dalībnieku kopbilde 2017. gada aprīlis.

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 - 78 512.16 EUR
 - Izdevumi MP8 - 34 725.76 EUR
 - Izdevumi MP9 - 50 197.04 EUR -> uzsākta AM dzēšana

Iepirkumi

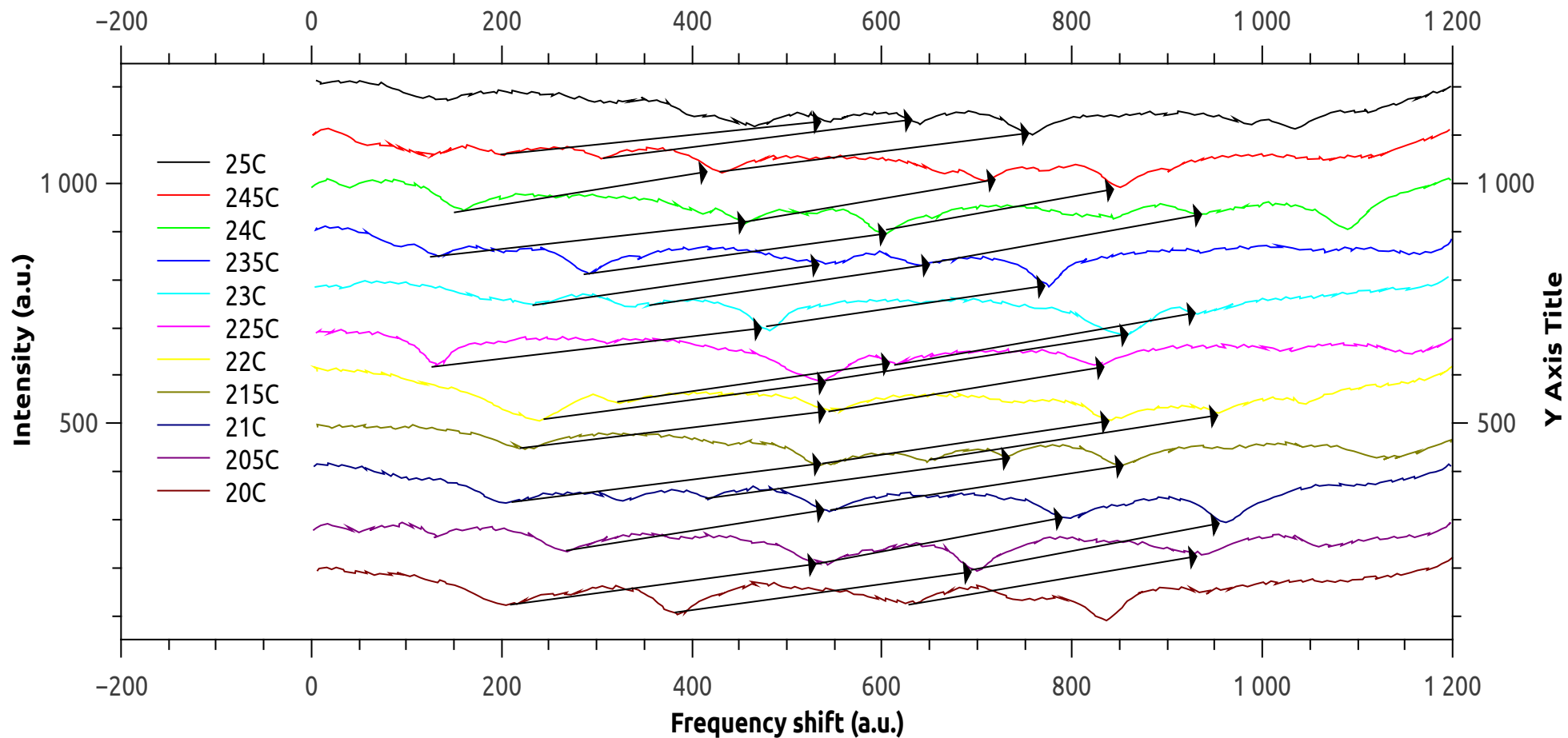
- Comsol datorprogrammas iepirkums (izpildīts).
- Materiālu iegādes iepirkums 1 (izpildīts).
- Instrumentu nomas iepirkums (izpildīts).
- Materiālu iegādes iepirkums 2 (procesā).

Vizītes

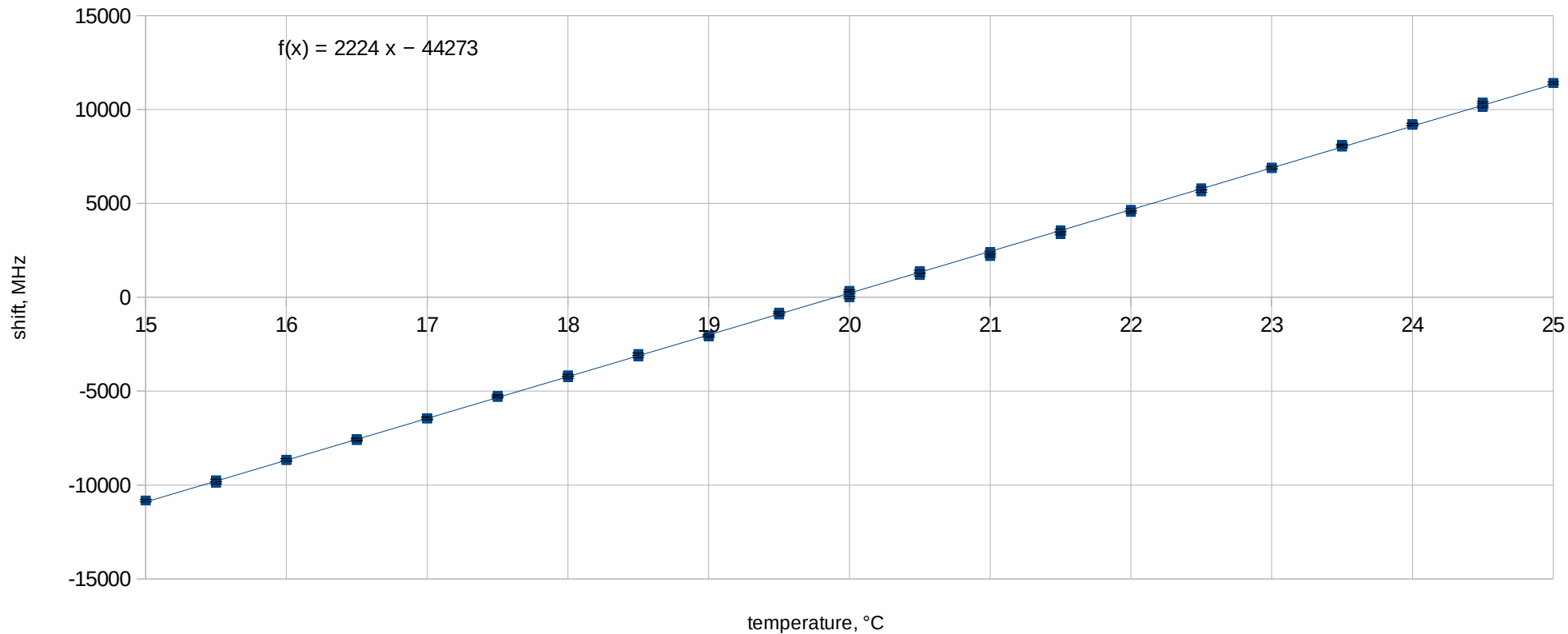
- **2018. gada decembrī notika vizīte uz Viļņas Universitātes, Ķīmijas fakultātes, Fizikālās ķīmijas katedru, lai tiktos ar A. Ramanaviča grupu.**
- Vizītē piedalījās R. Viter un A. Atvars
- Tika aogūta molekulu skaitlisko aprēķinu programmas - Spartan, Gaussian u.c. - pamati optisko īpašību teorētiskajiem aprēķiniem. Tika modelētas ZnO, anilīna un polianilīna struktūras.

Frequency shift from temperature

Heating from 20°C to 25°C in air



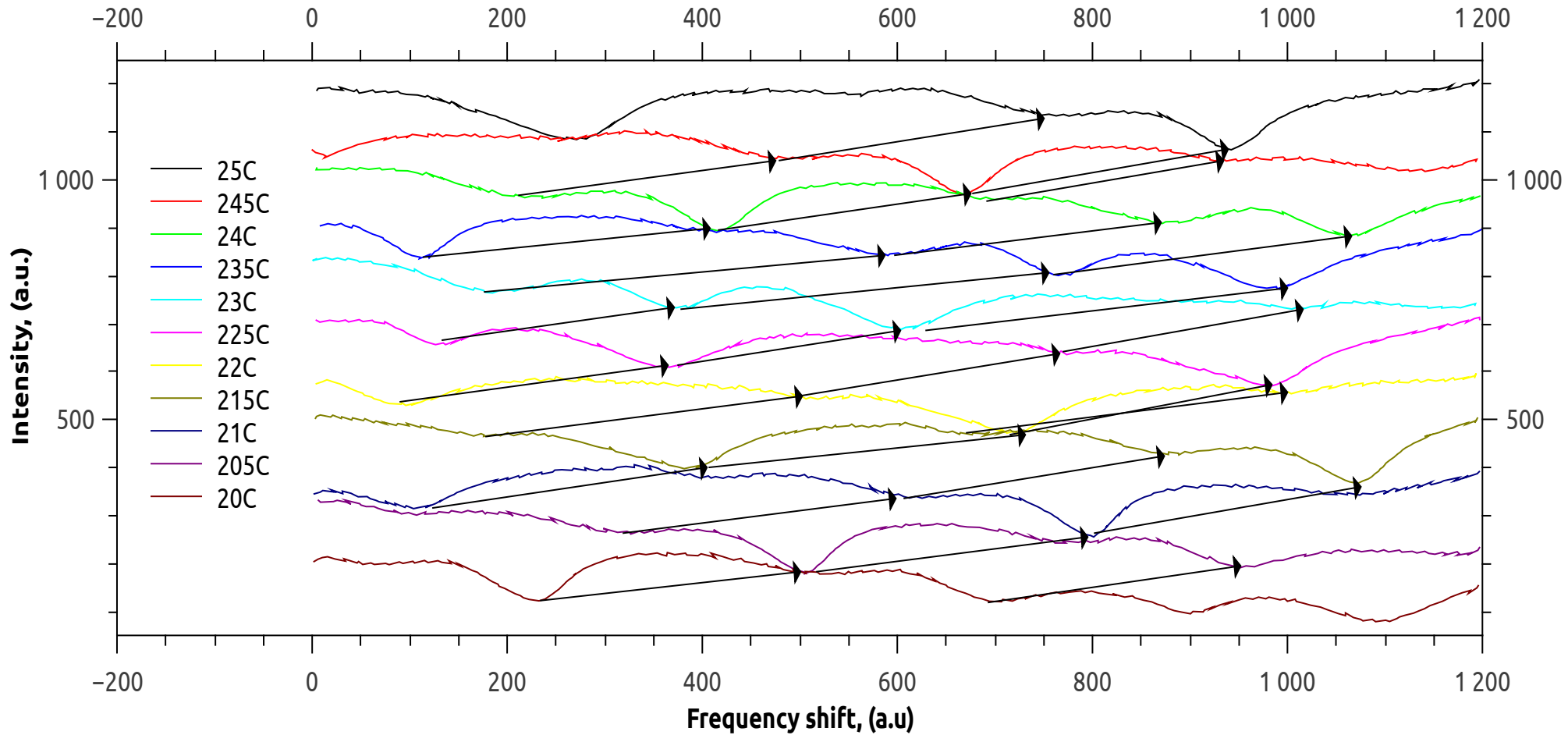
Festus 1 Rezonanse shift in air

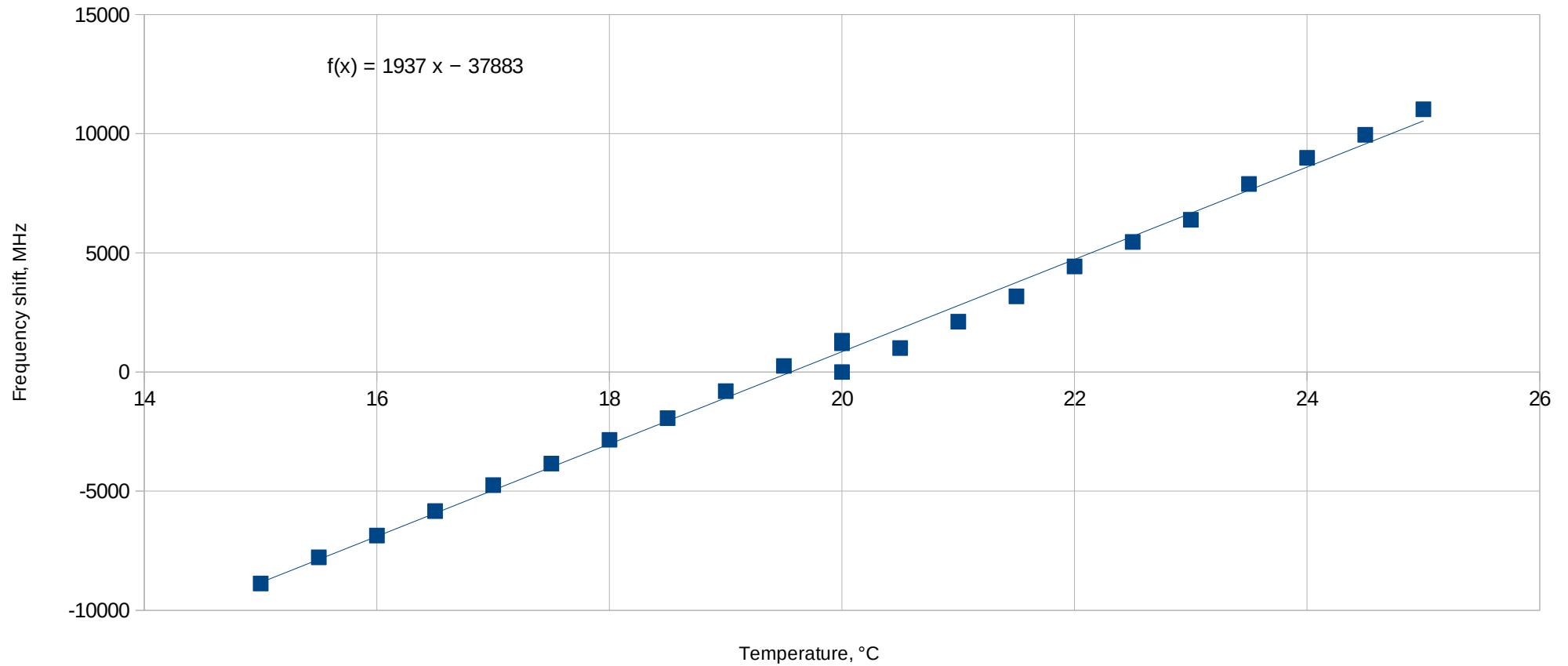


$$f(x) = (2224,40 \pm 4,96) * x - (44273,42 \pm 100,30)$$

$$(2241 \pm 47) \text{ MHz}/^\circ\text{C}$$

Heating in water

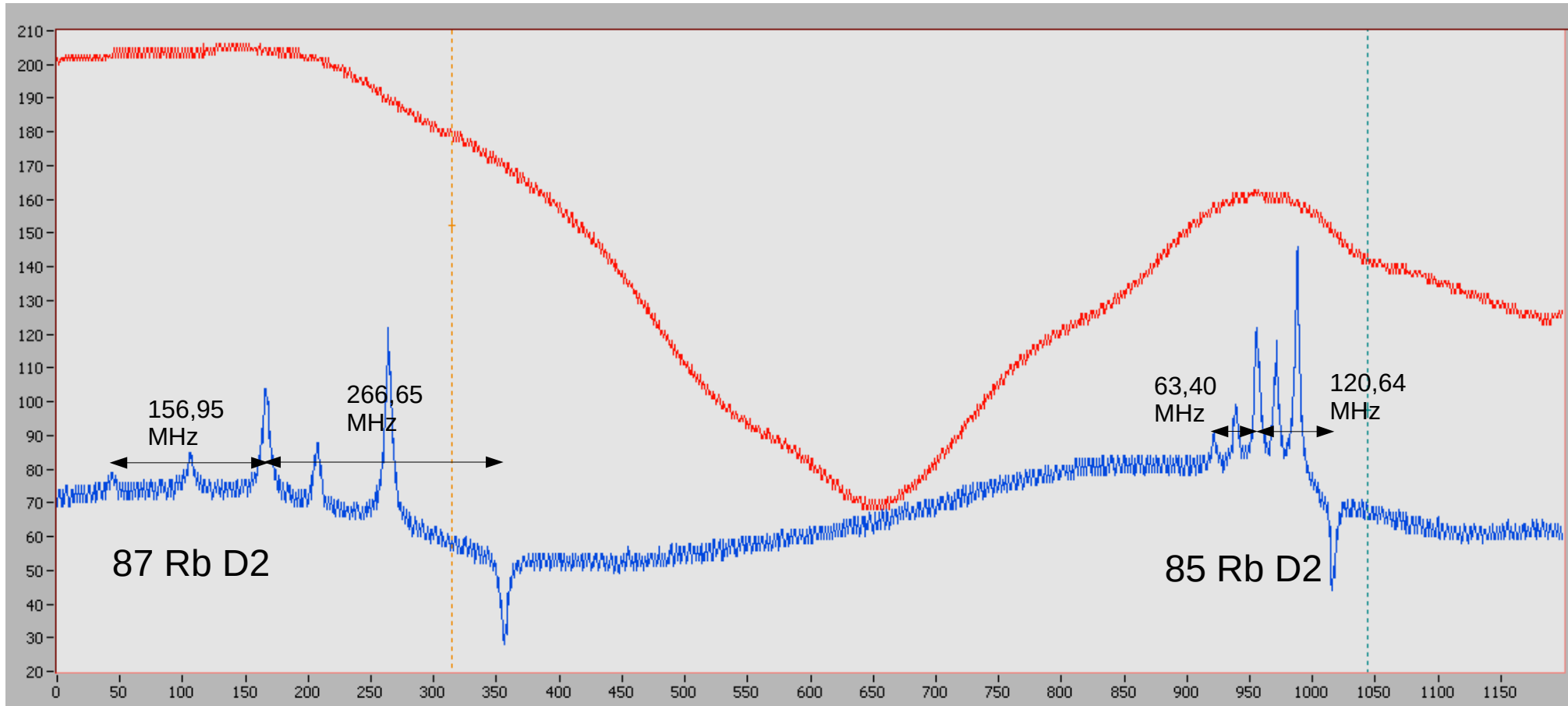


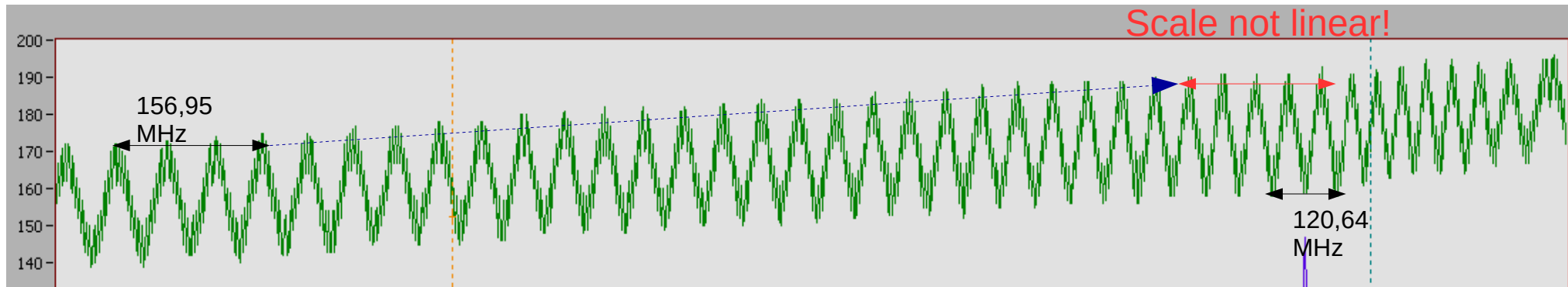


$$f(x) = (1936,90 \pm 30,25) * x - (37882,35 \pm 611,35)$$

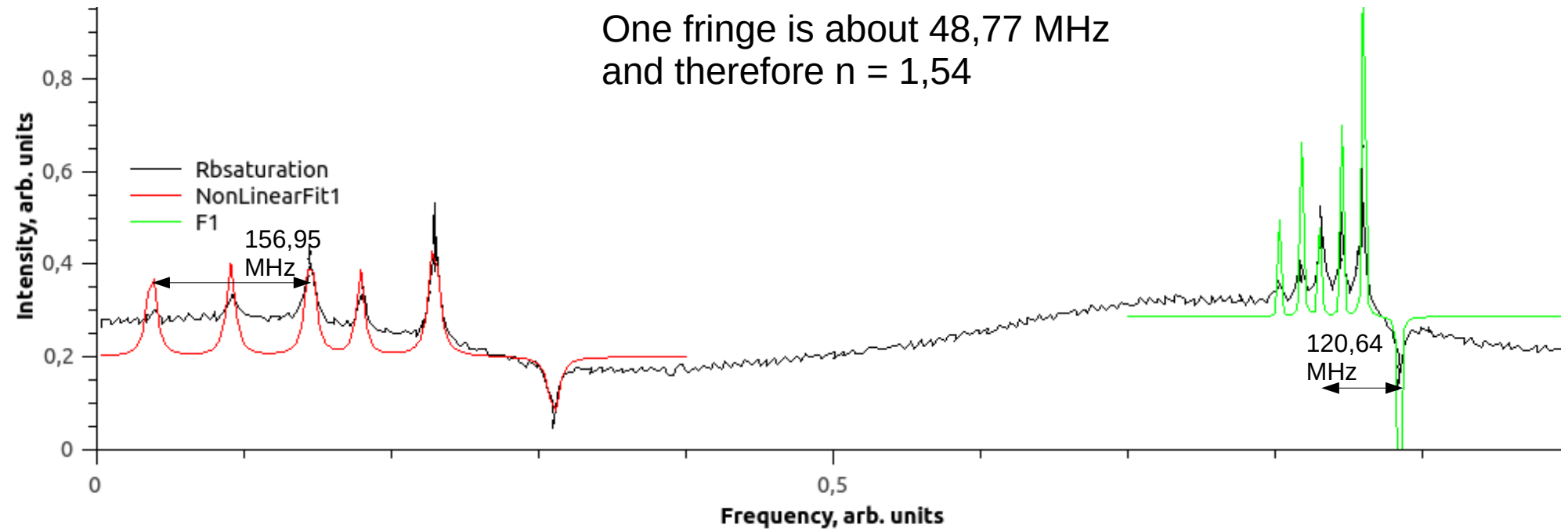
$$(2121 \pm 121) \text{ MHz}/^\circ\text{C}$$

Rb saturation as reference

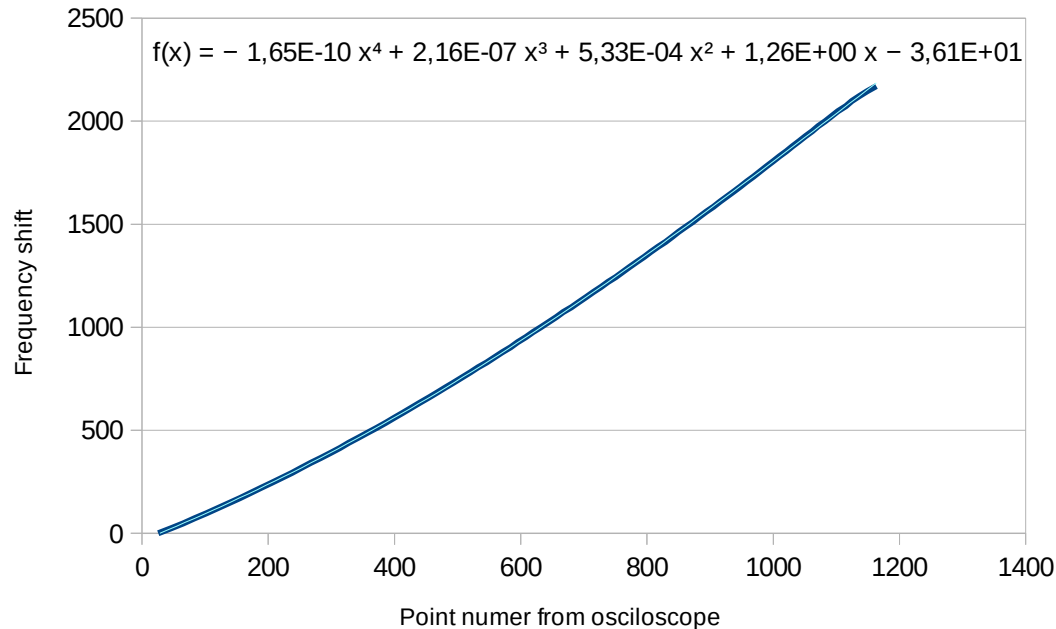




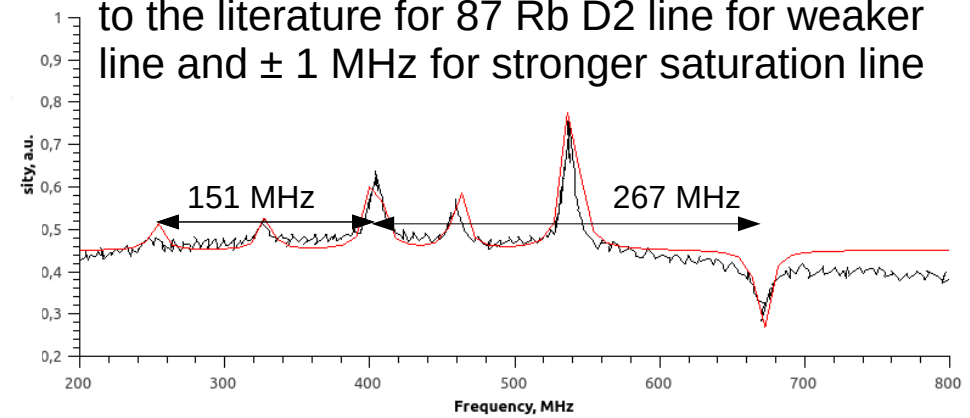
One fringe is about 48,77 MHz
and therefore $n = 1,54$



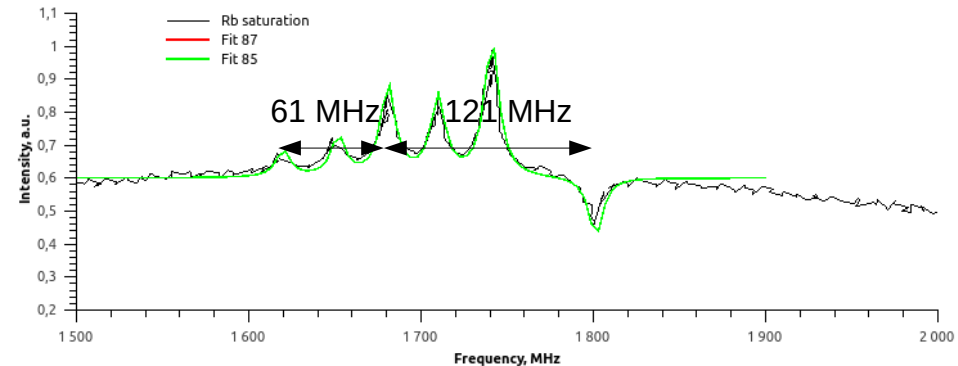
Calibrating the scale



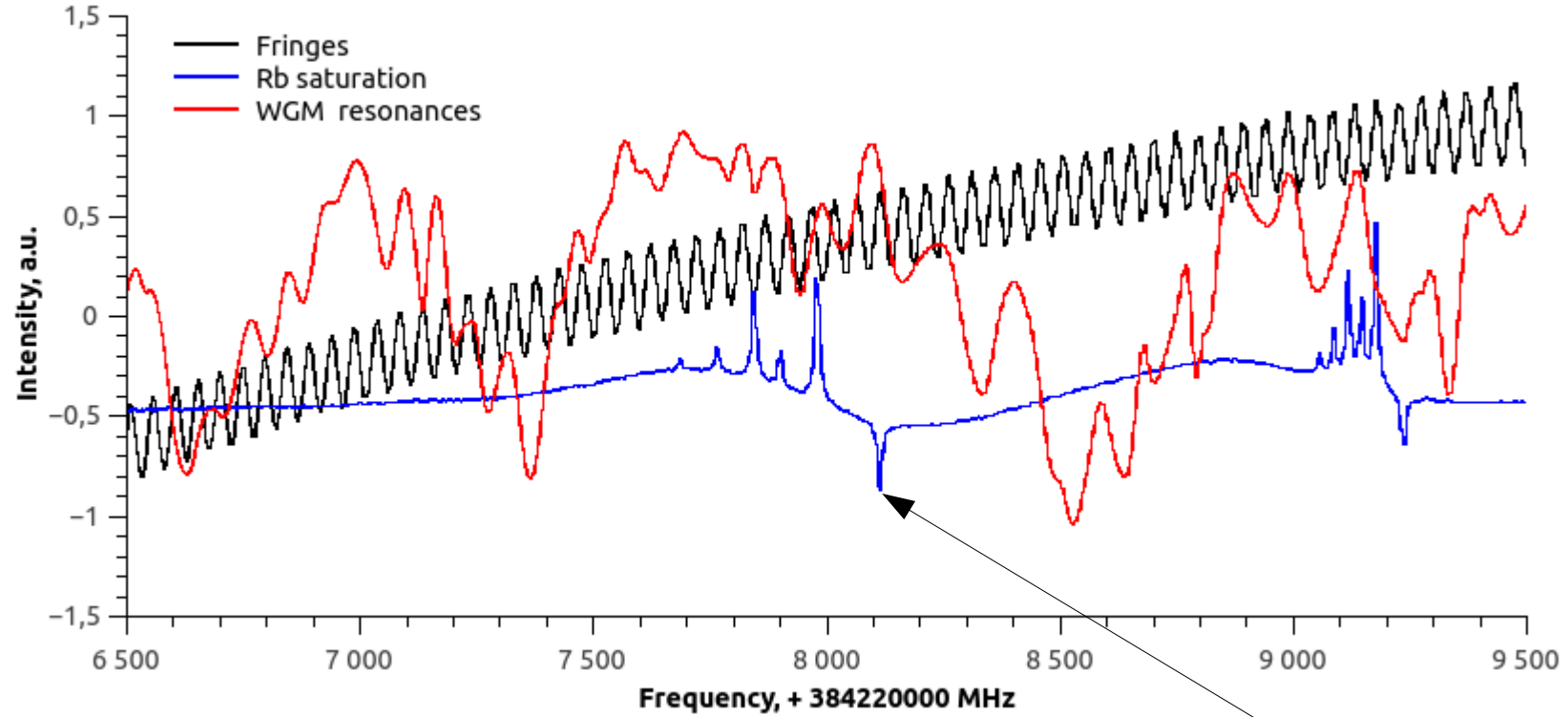
Error is ± 6 MHz using calibration compared to the literature for 87 Rb D2 line for weaker line and ± 1 MHz for stronger saturation line



and ± 3 MHz for 85 Rb D2 line

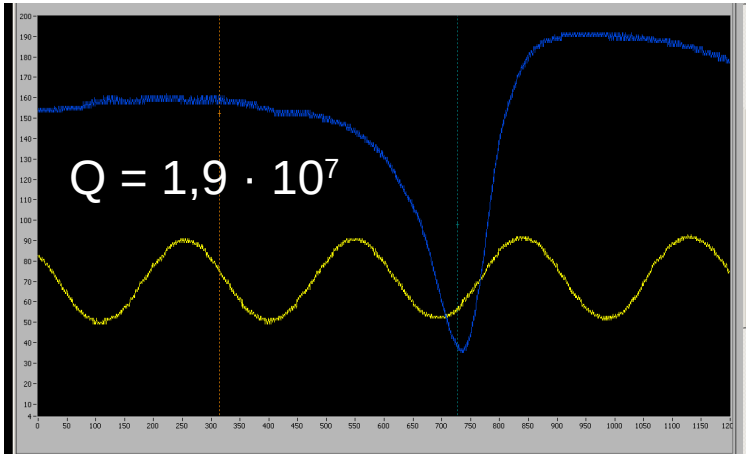


Finding the absolute frequency



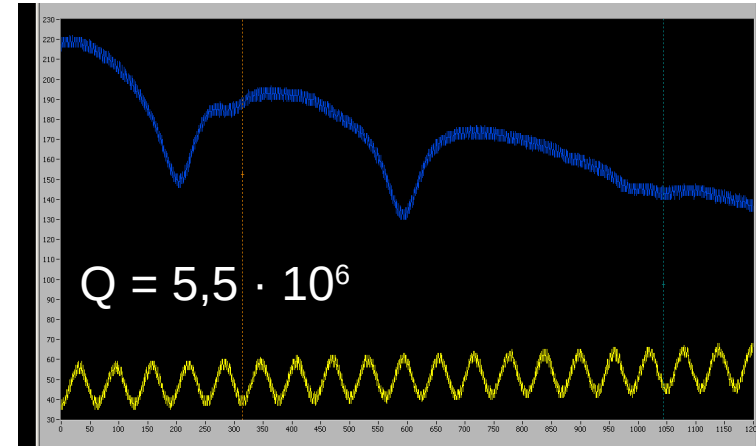
This peak is used as a main reference point

WGM coated with PANI



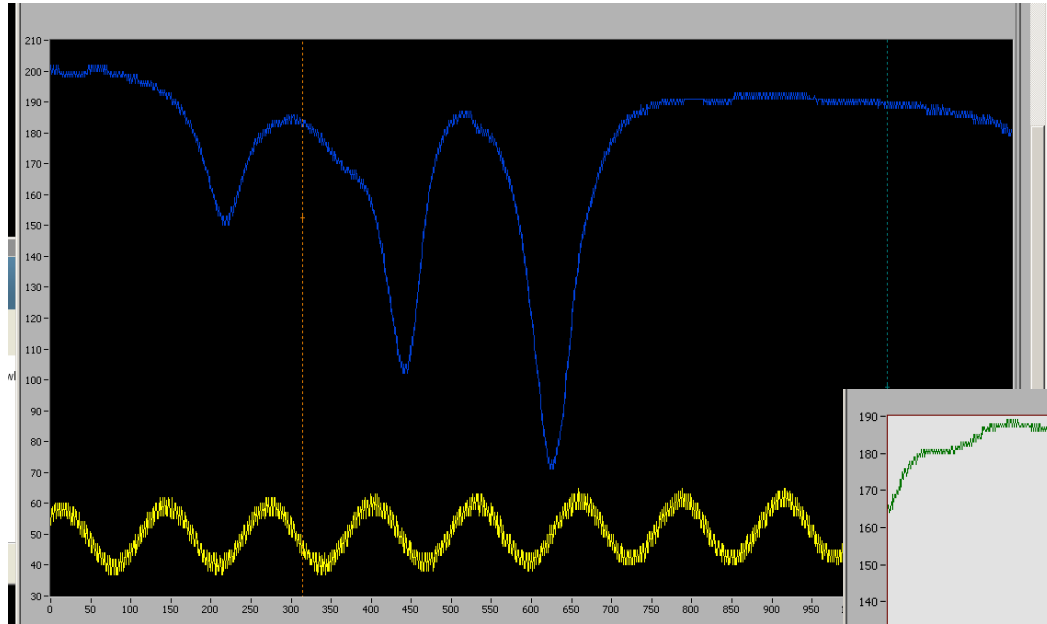
Before

Successfully
measured Q factor



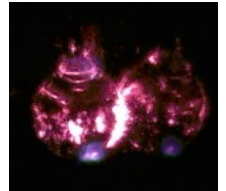
After

WGM coated with PANI

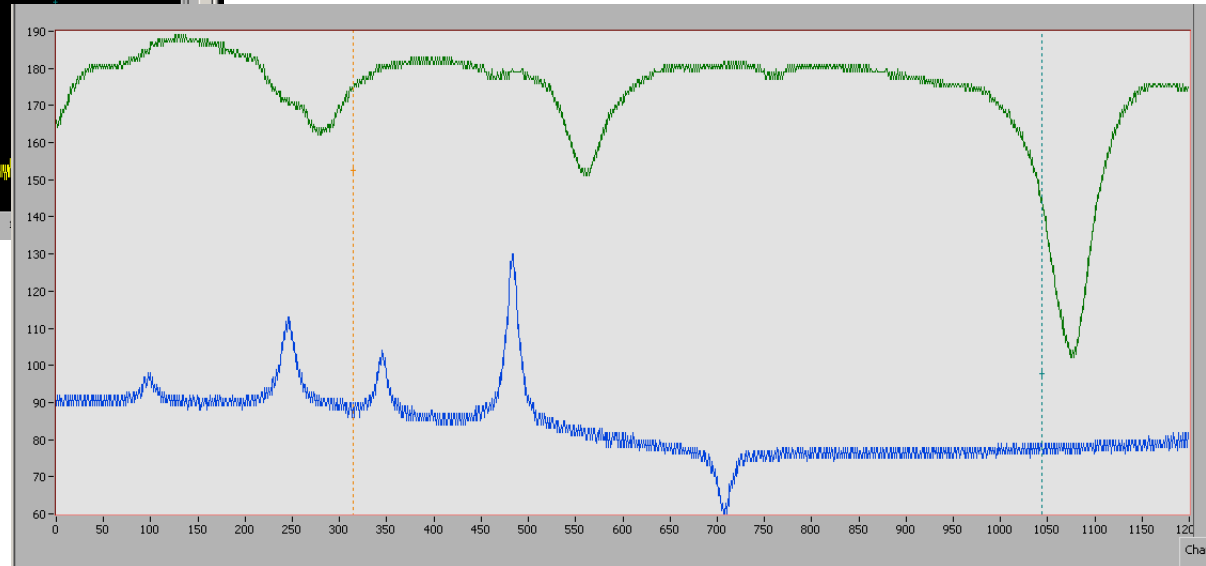


Q for coated resonator was calculated using Rb saturation lines.

After
 $Q = 1,2 \cdot 10^7$



Before
 $Q = 1,57 \cdot 10^7$



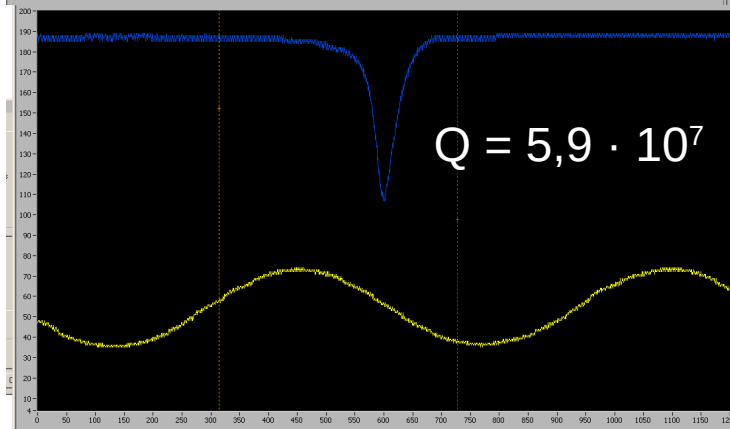
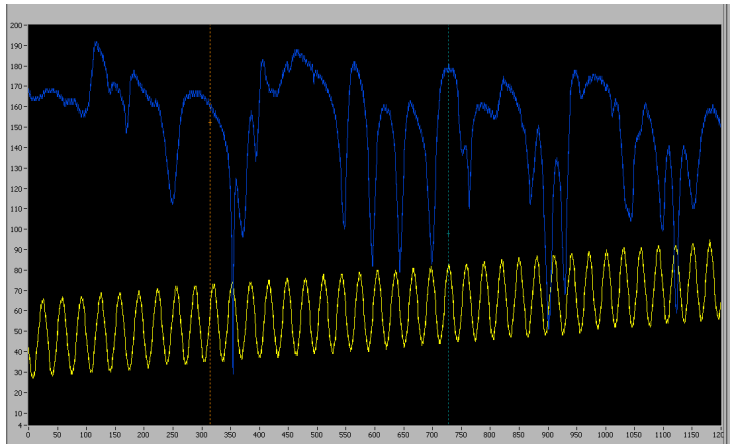


WGM coated with Au

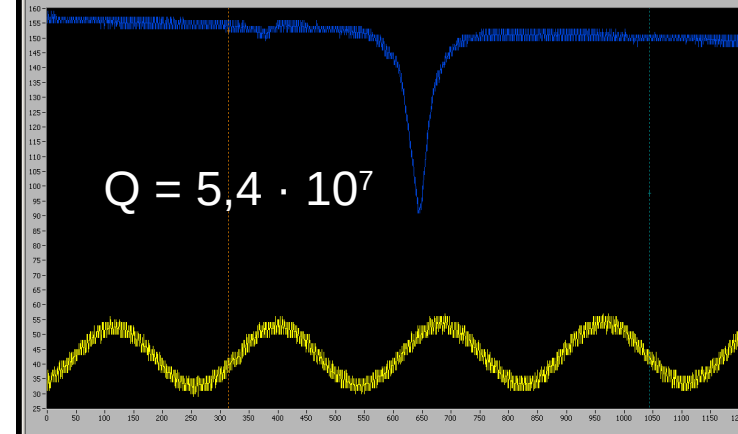
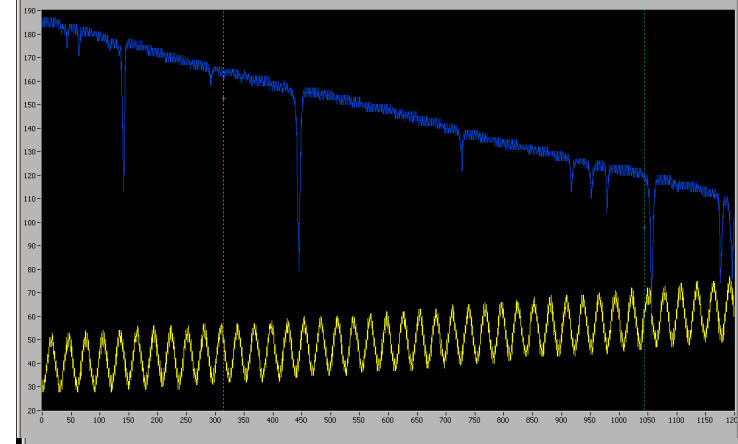
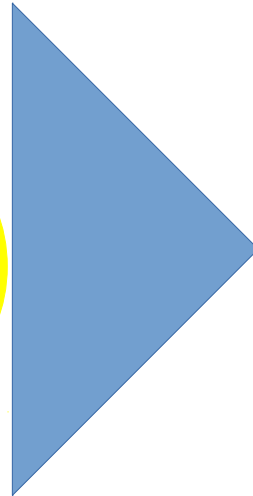
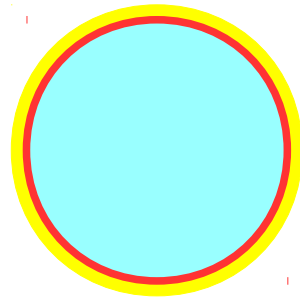


Less modes coupled.

No van der Waals forces and no over coupling even when touching the prism.



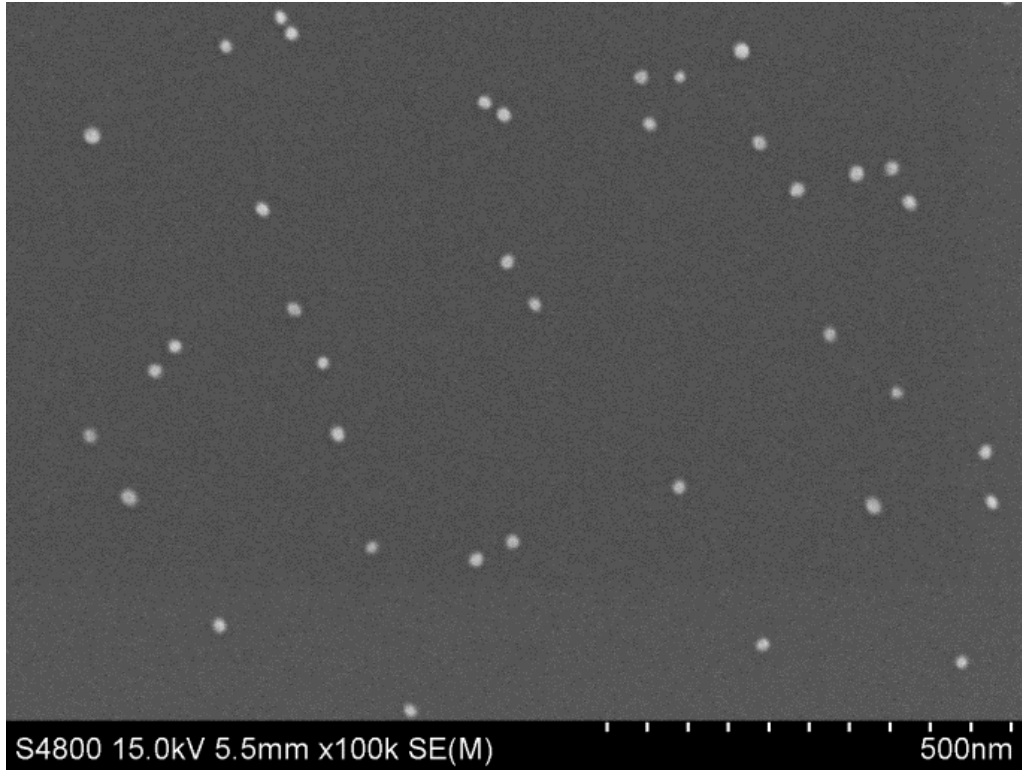
Before



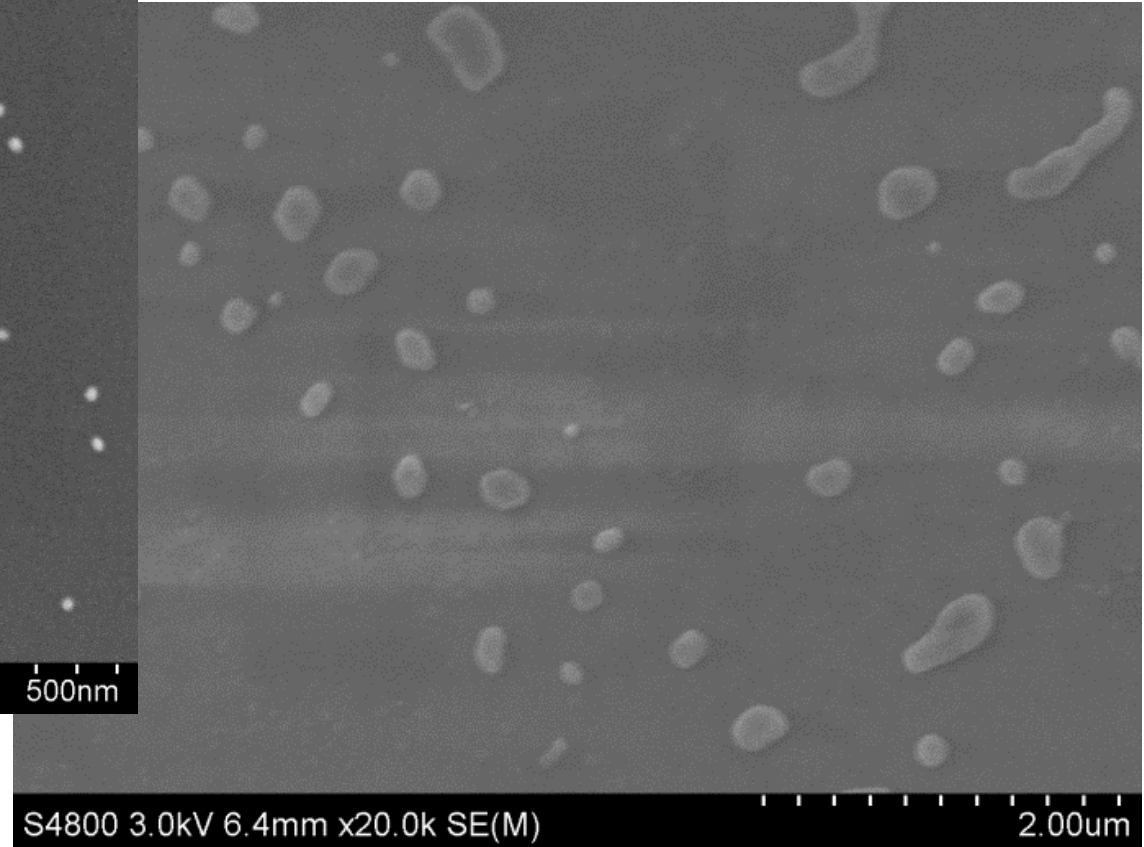
After

SEM images of Au nanoparticles on the surface

SEM of Au on WGM substrate

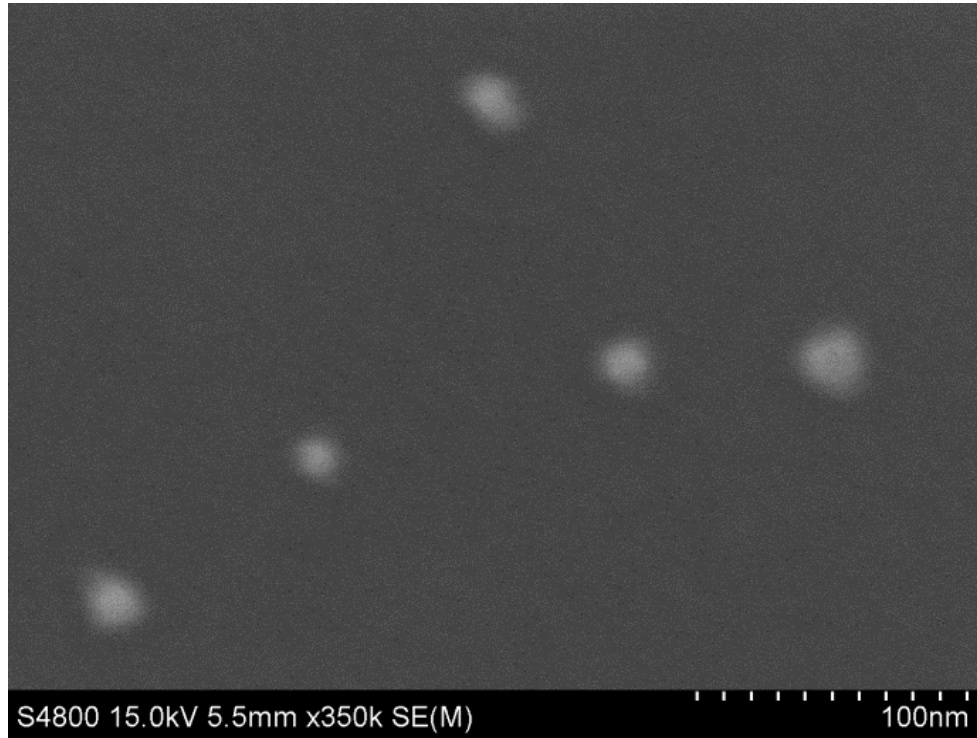


SEM of Au on Si substrate



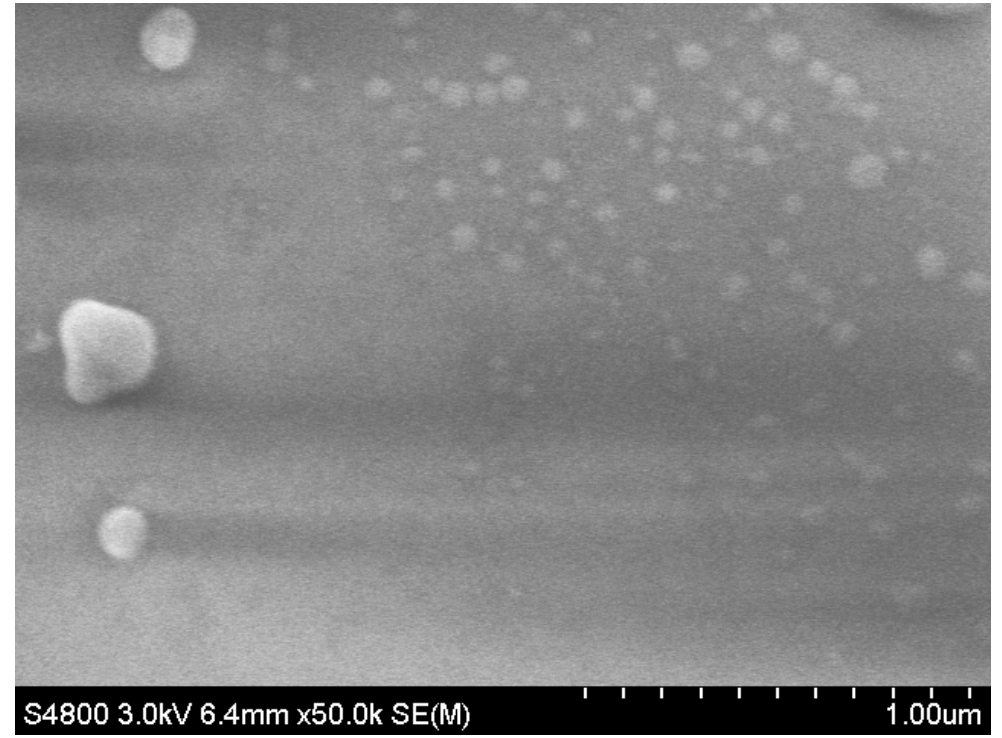
SEM images of Au nanoparticles on the surface

SEM of Au on Si substrate



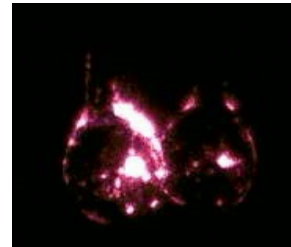
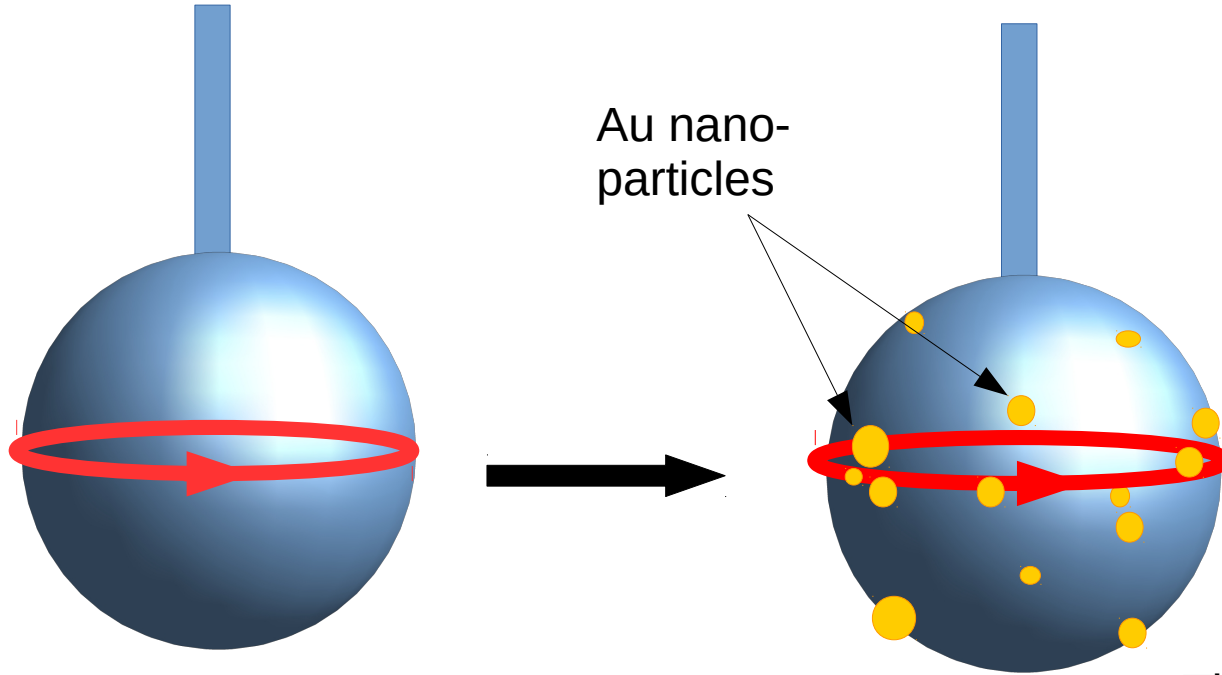
Au nano-particle size 10-13 nm

SEM of Au on WGM substrate



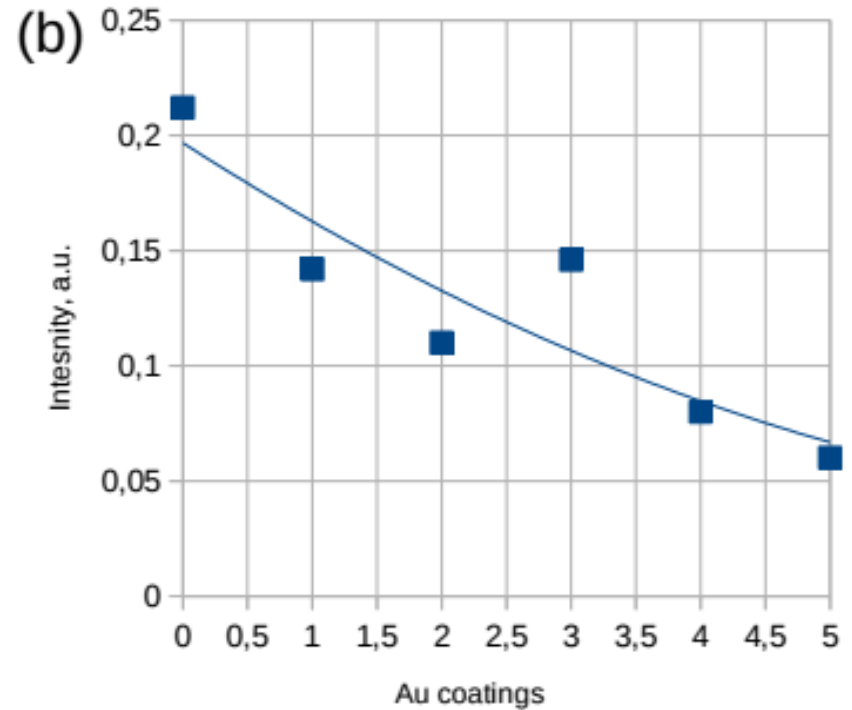
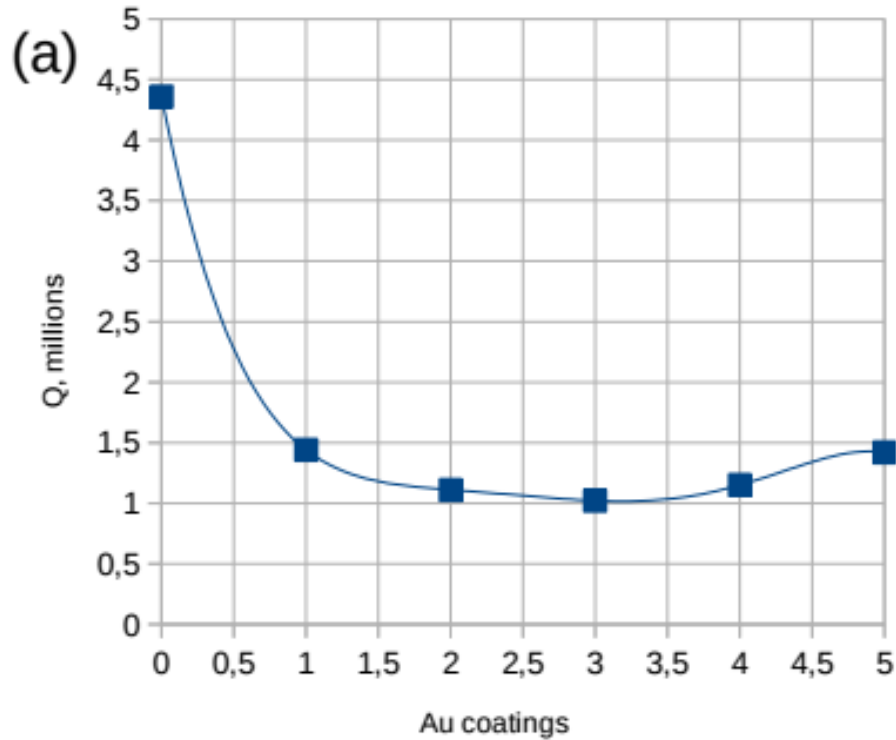
Agglomeration of the Au nanoparticles occurred

Coating resonators with Au nanoparticles

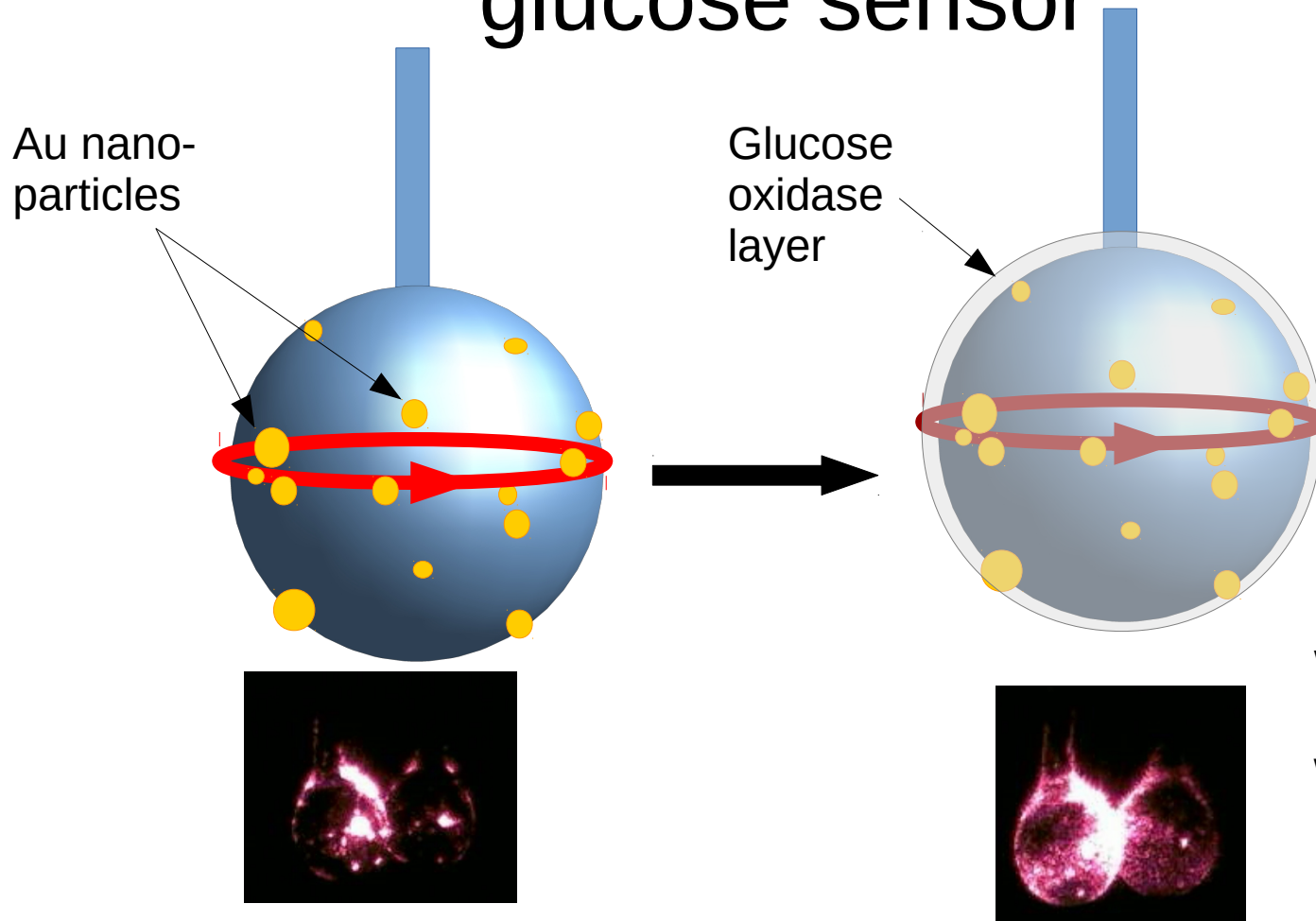


The larger nano-particles can also be seen when exciting WGM.

Coating multiple times with Au

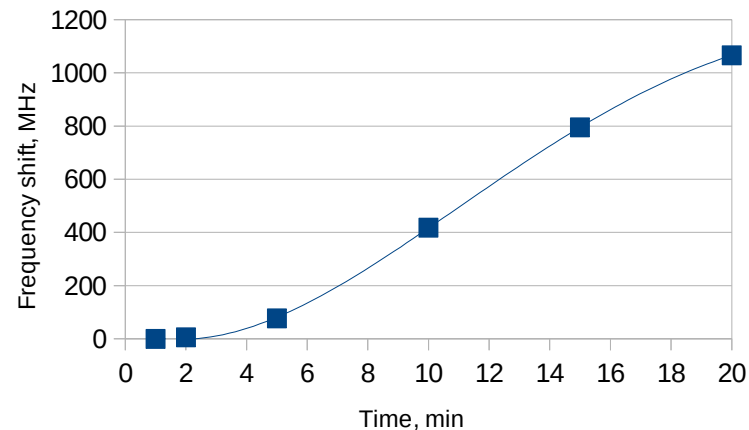
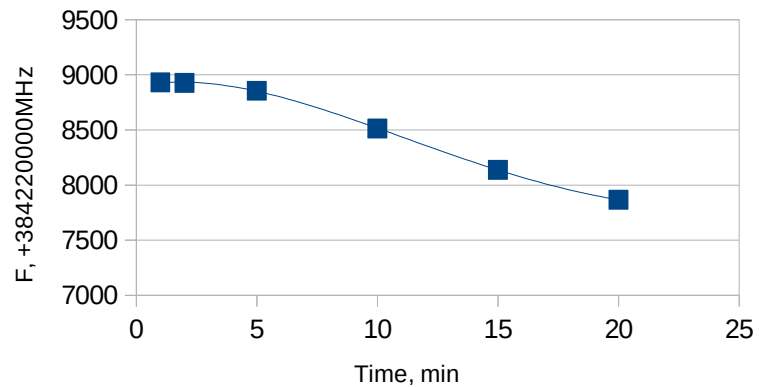
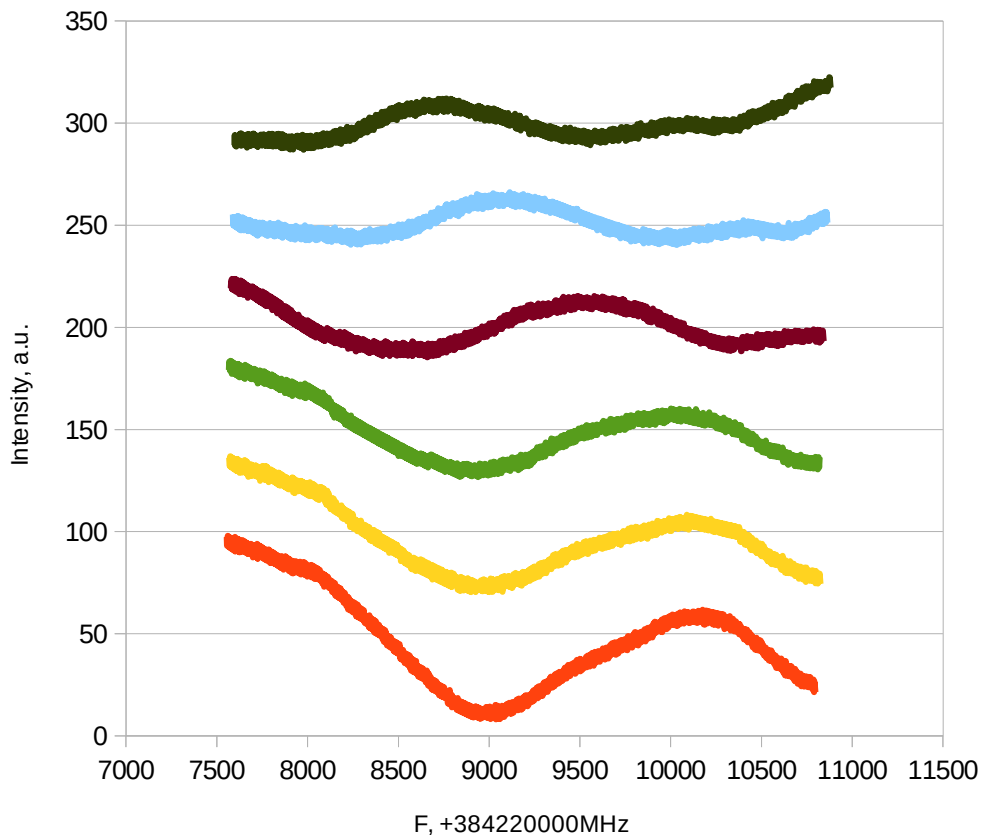


Coating resonators with glucose oxidase for glucose sensor

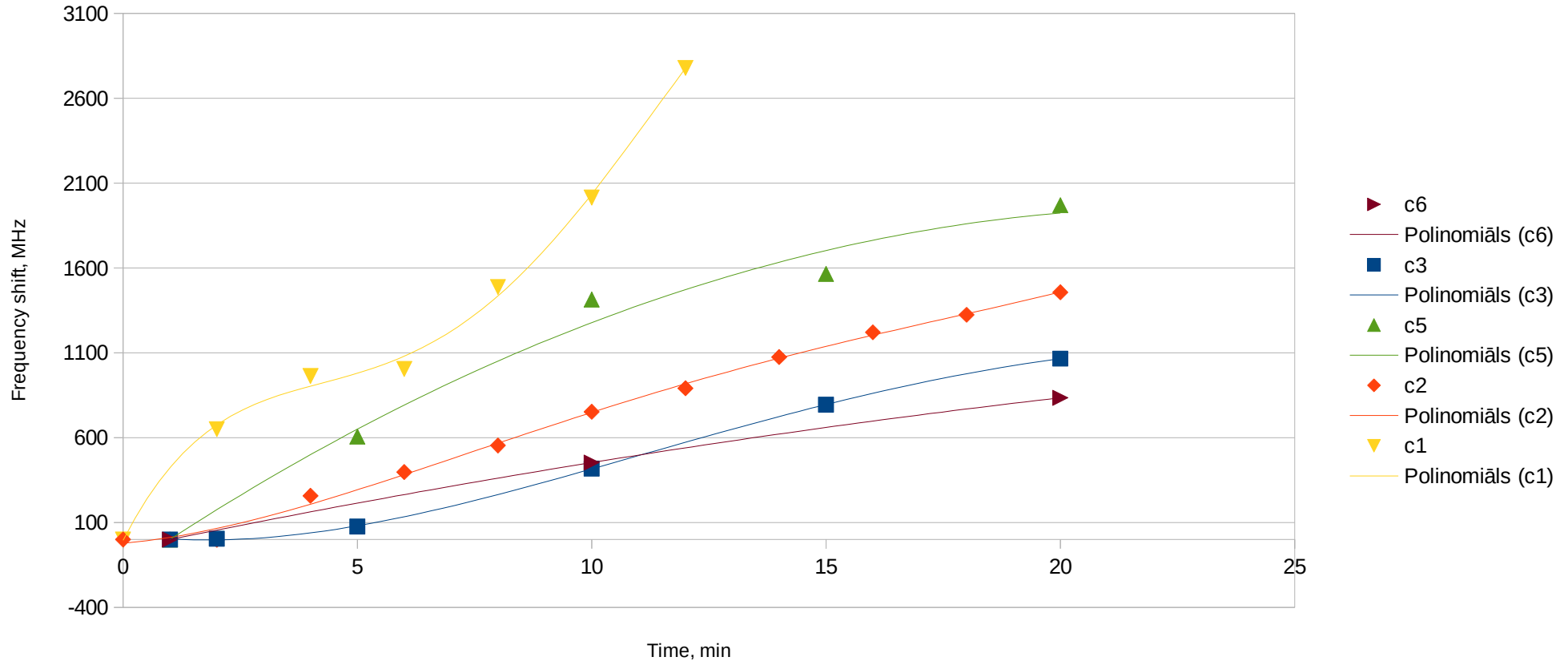


When exciting WGM it is obvious that the whole surface has been coated.

Resonance peak shift in glucose solution



Shift for different concentrations of glucose solution

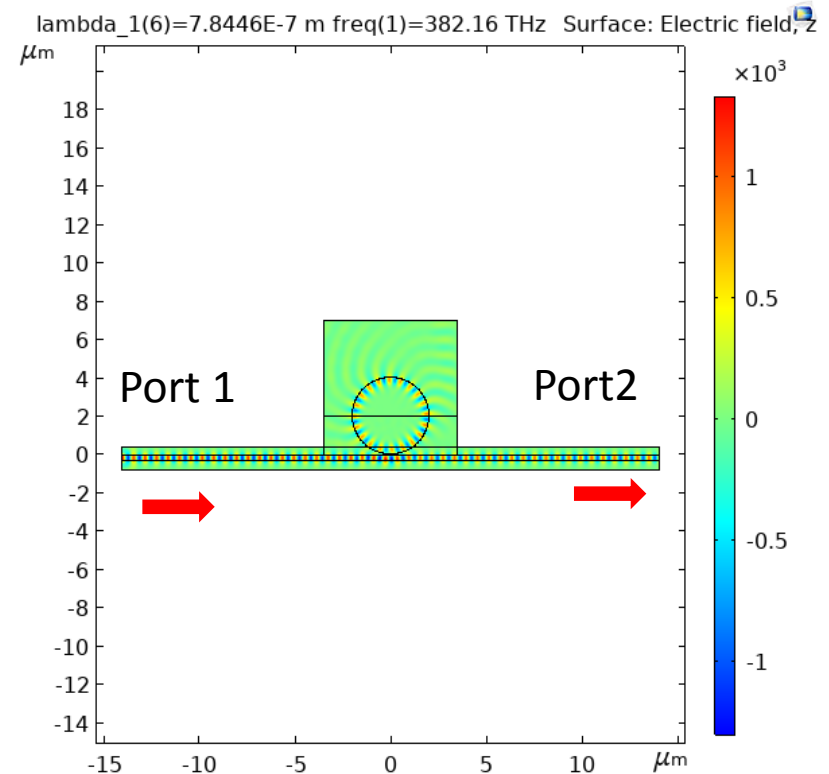
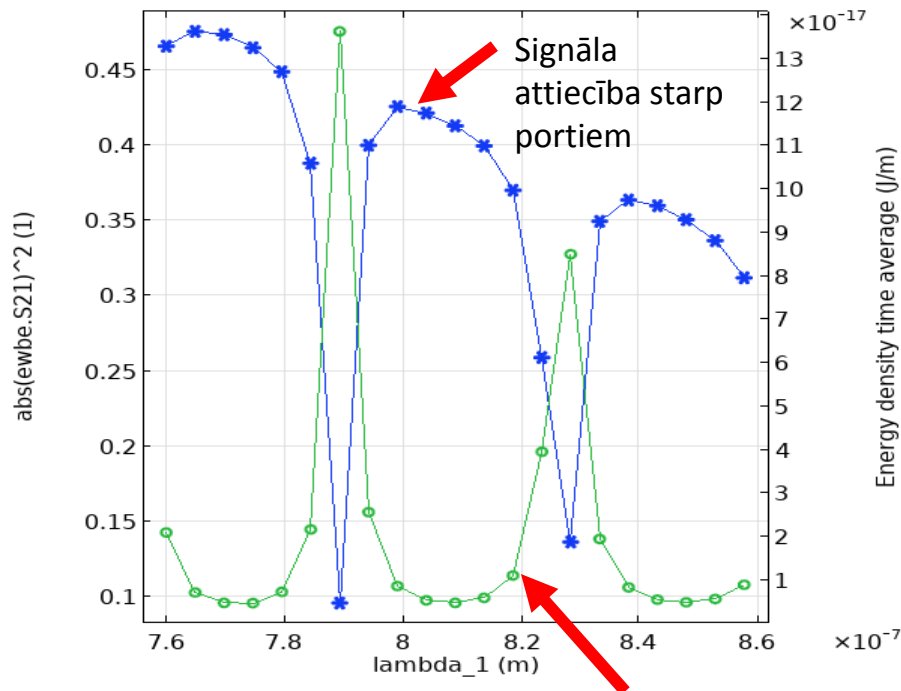


Modelēšana

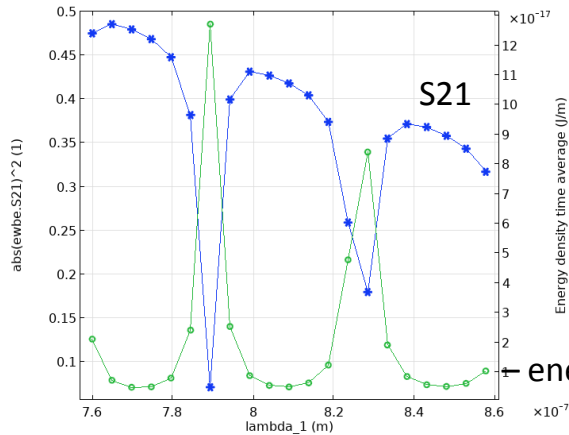
01.12.2019-28.02.2019.

Rezonatoru modelēšana, izmantojot Port-in un Port-out kanālus rezonanšu reģistrēšanai

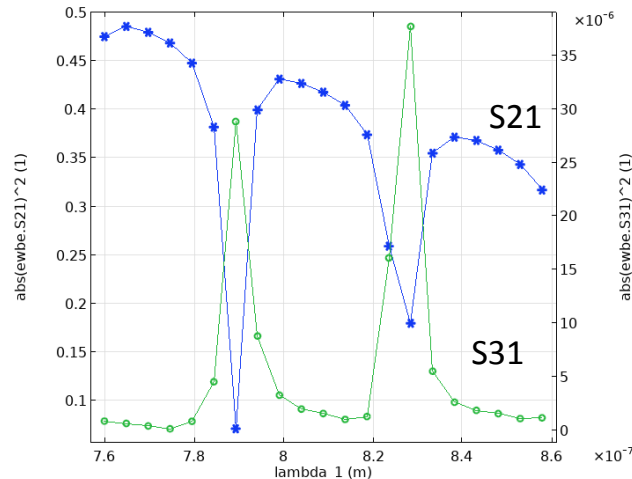
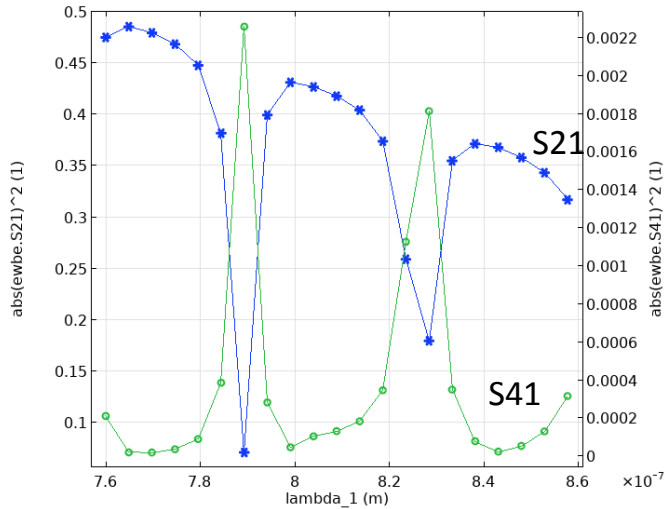
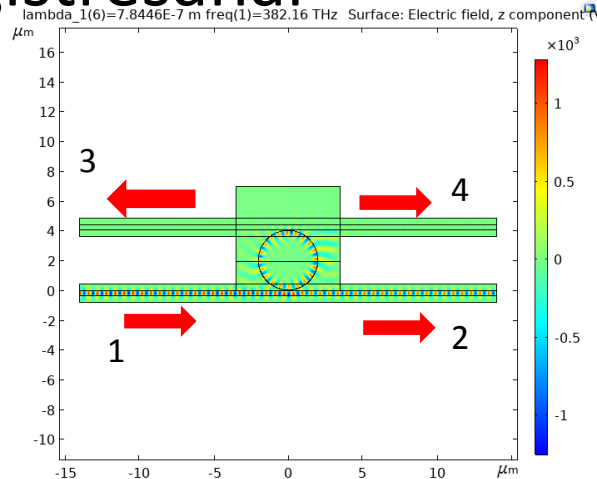
Lambda = 760 [nm], n_core=1.5, hfiber=0.3 um



Modelēšanas situācija – rezonatoram ir pievienota papildus šķiedra rezonanšu reģistrēšanai



enerģijas blīvums laikā vidējots, rezonatorā



$$S21 = \text{Abs}(\text{ewbe.S21})^2$$

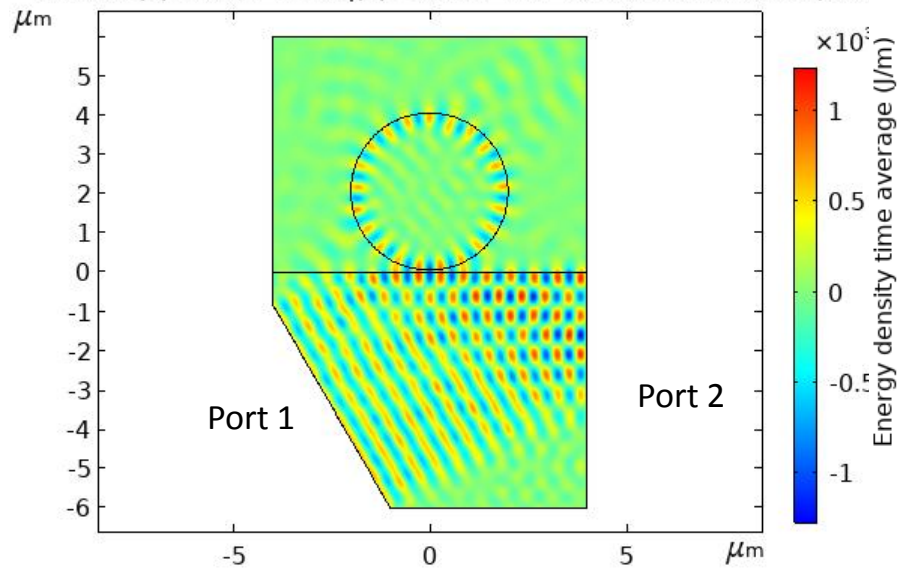
Port periodic, Ez

S21 raksturo jaudu, kas pārraidīta no Port 1 uz Port 2.

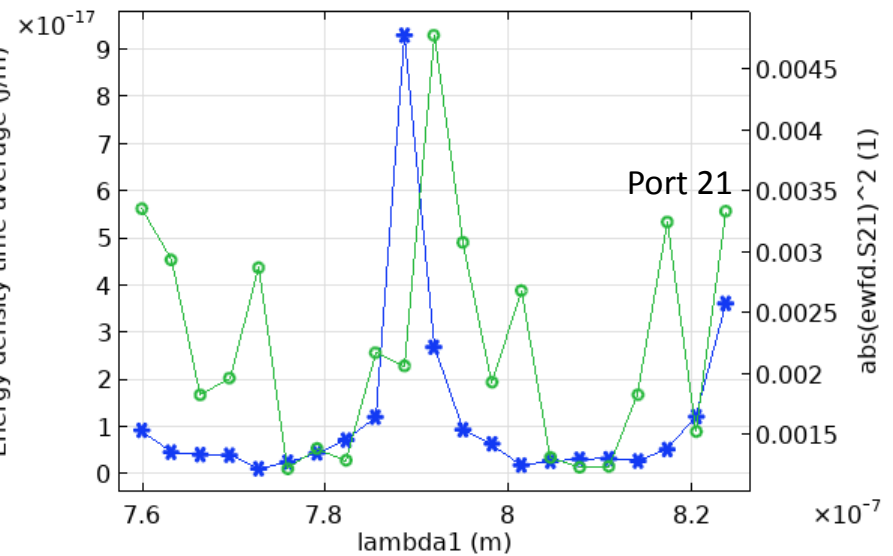
Porti 2, 3 un 4 uzrāda rezonanses, taču signāli kļūst vājāki secībā 2 → 4 → 3

Port-in un port-out aprēķini prizmas-rezonatora sistēmai

lambda1(1)=7.6E-7 m freq(1)=394.46 THz Surface: Electric field, z ci

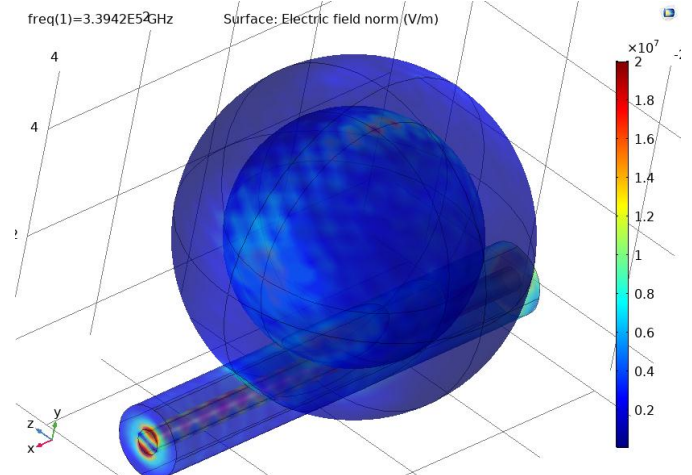
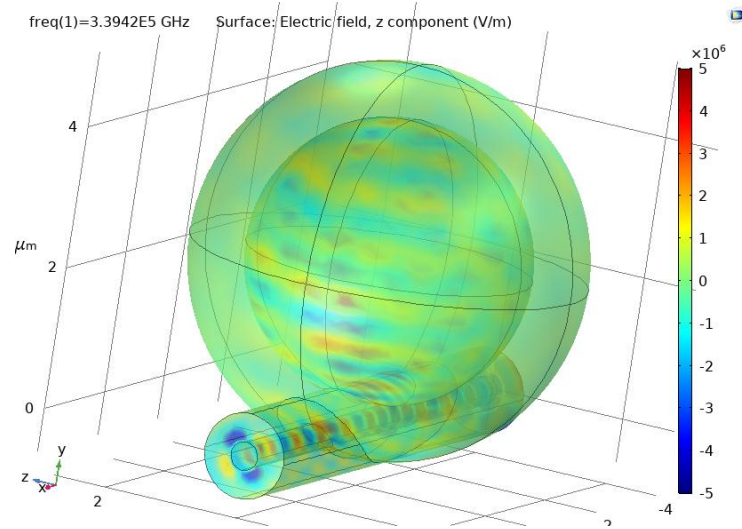
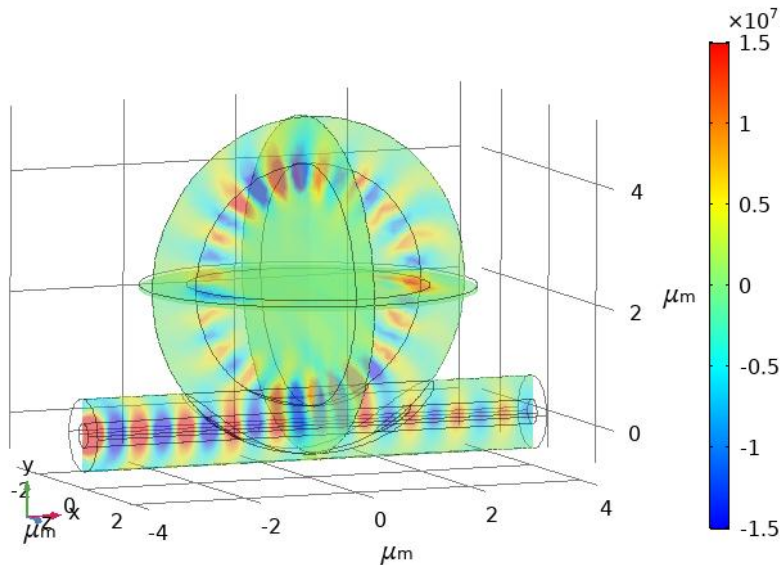


Blue - Energy density time average in resonator



Rezonatora un šķiedras 3D modelēšana, COMSOL

lambda_1(2)=8.8324E-7 m freq(1)=3.3942E5 GHz Multislice: Electric field, z cōr

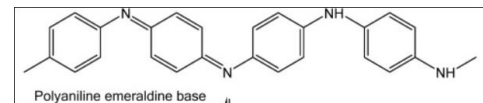


Molekulu absorbcijas spektru aprēķini

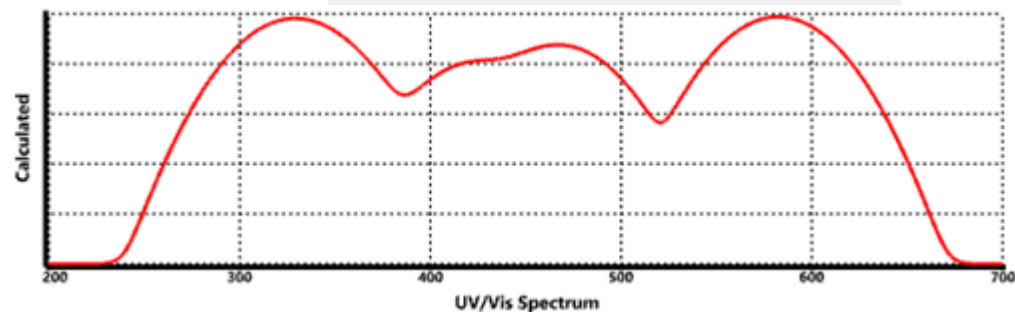
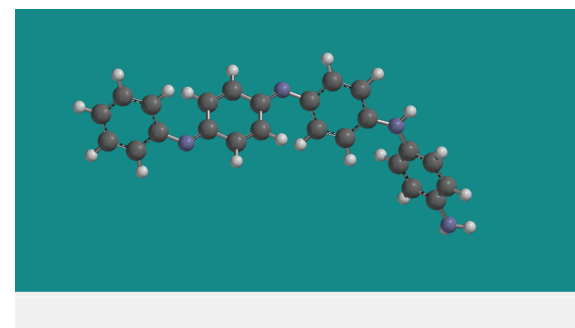
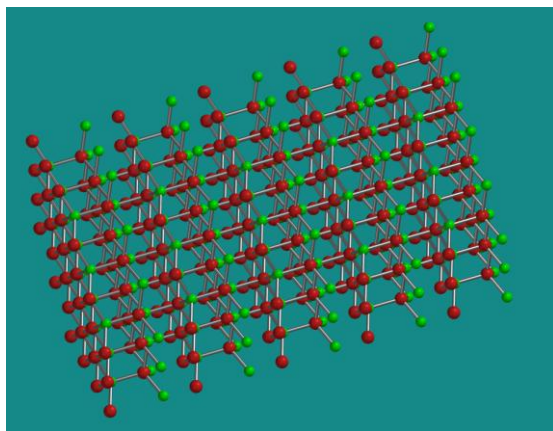
Viļņas Universitāte, Ķīmijas Fakultāte, Fizikālās Ķīmijas nodaļa, Prof. Habil. Dr. *Arūnas Ramanavičius* (vizīte 17-19.08.2018., A.Atvars, R.Viter)

Programmatūra – Spartan,
Gaussian, Materials Studio

Polyaniline



ZnO



Standarta programmas (Gaussian, Spartan) rēķina nelielas molekulas;
Kad jārēķina molekulu slāņi, piemēram, ZnO slāņi, tad jāizmanto specializētas
programmas (piemēram, Materials Studio)

Litogrāfiski izgatavoti rezonatori

No Trento universitātes iedotie litogrāfiski izgatavotie CGMR čipi tiks izmantoti aktivitātē 2 lāzera stabilizācijai.

1.1.	ČGM rezonatoru izstrāde	Projektā ir plānots ar litogrāfijas metodi iegūt ČGM mikrorezonatorus ar diametru ap 50 mikrometri. Projekta darba grupai litogrāfija nav pieejama, tādēļ šos rezonatorus ir plānots iegūt iepirkumā. Tāpat tiek sagaidīt, ka līdzīga izmēra rezonatora paraugus varēs iegūt no netiešajiem projekta ārvalstu partneriem, pie kuriem J.Alnis plāno doties komandējumā. Piemēram, Prof. T. Kipenebergs no Šveices.	1 prototips - ČGM rezonators ar vislabāko sniegumu.	1	gabali
------	-------------------------	---	---	---	--------

2.	ČGM rezonatoru testēšana un optisko standartu tehnoloģijas izstrāde, kur stabilizēšana notiek uz ČGM rezonatora un Rb atomu piesātinājuma spektroskopijas līnijas	Dotās darbības ietvaros sākotnēji tiks izstrādāts ČGM rezonatoru testa stends un vēlāk tiks uzlabots kā optisko standartu tehnoloģijas prototips, kur signāla stabilizēšana notiek uz ČGM rezonatora modas un Rb atomu piesātinājumu spektroskopijas līnijas. Pētījuma galvenie rezultāti tiks sniegti publikācijā. Tiks sagatavots arī tehnoloģiju tiesību - zinātnības apraksts, kur sniegta informācija par sistēmas izveidošanas niansēm.	publikācija	1	publikācijas
----	---	---	-------------	---	--------------

Litogrāfiski izgatavoti rezonatori

Sadarbība ar Dr. Georg Pucker no Trento universitātes



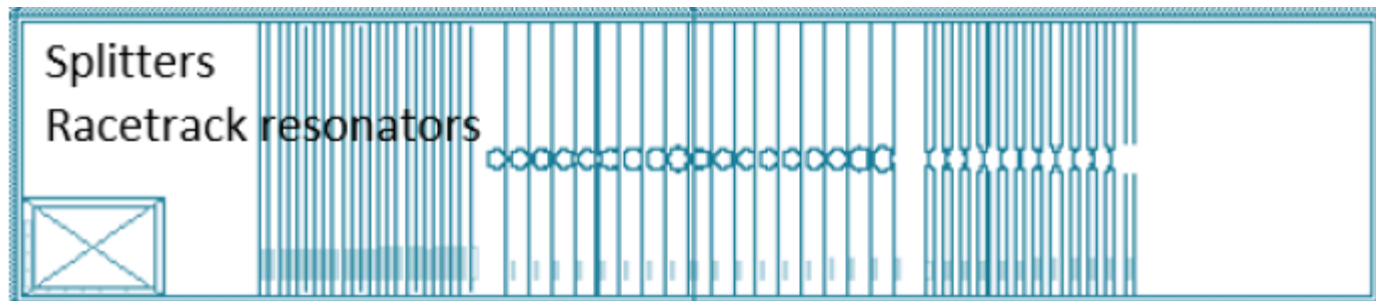
UNIVERSITY OF TRENTO - Italy

Silicon-based photonic integrated circuit for label-free biosensing

Doctoral dissertation

ALINA SAMUSENKO

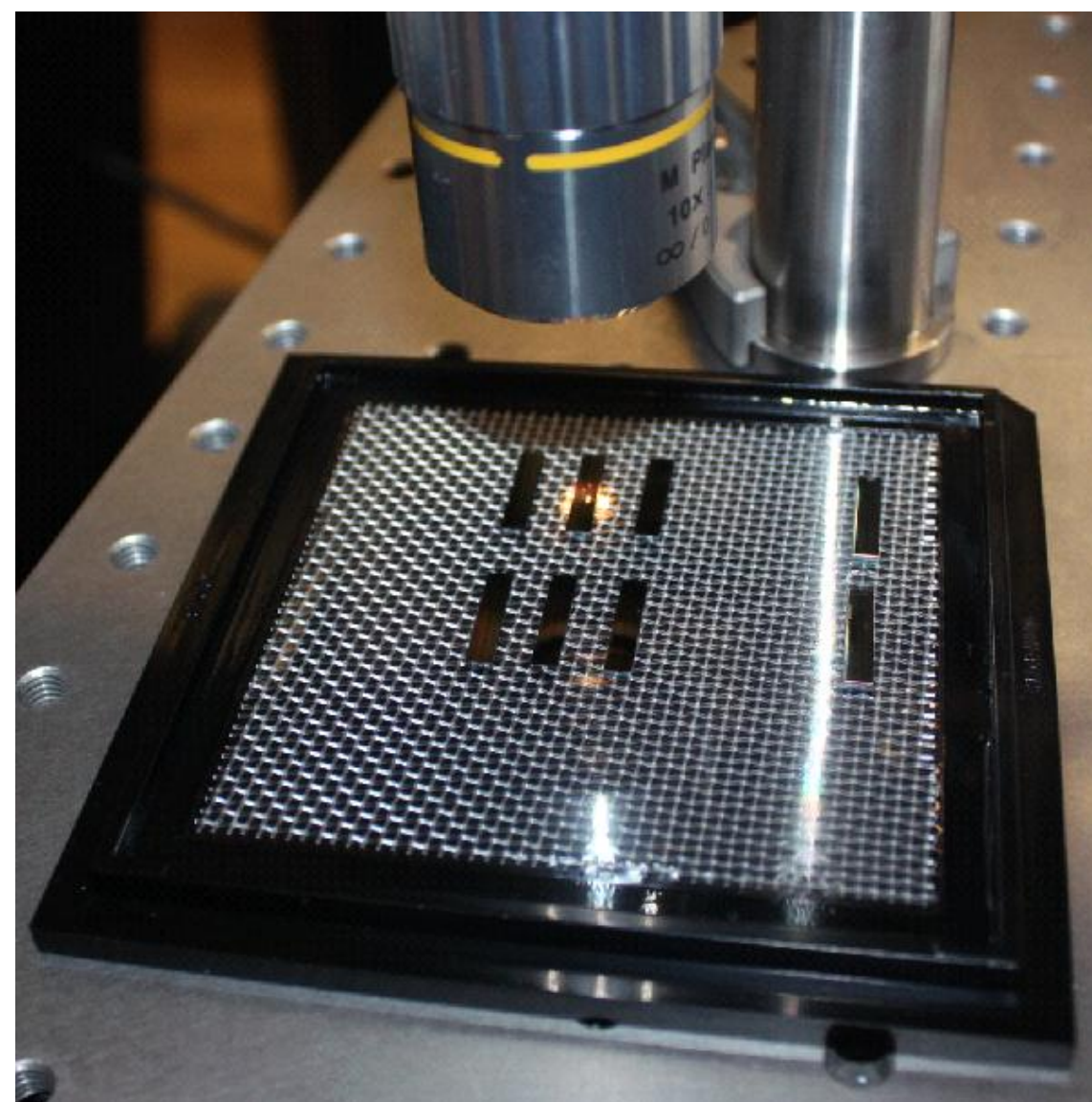
Supervisor: Dr. Georg Pucker



Litogrāfiski izgatavoti rezonatori

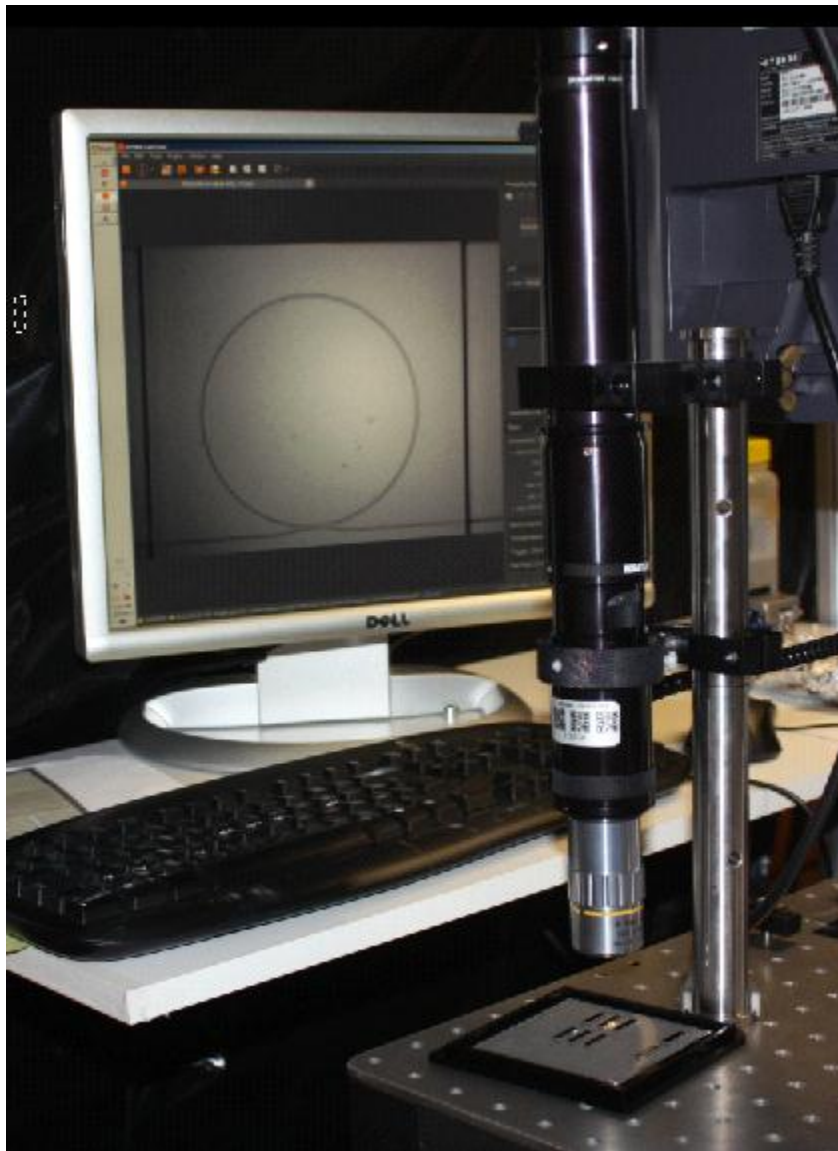
Čips ar rezonatoriem zem mikroskopa , LU ASI

Dr. Georg Pucker no Trento
Apmeklēja LU ASI, 2019.g. janvārī
Atveda viņu izgatavotos
mikrorezonatoru paraudziņus
Izmantosim tos ERAF projektā.
Nebūs jātaisa LV.



Litogrāfiski izgatavoti rezonatori

Čips ar rezonatoru zem mikroskopa , LU ASI



Zoom mikroskops samontēts LU ASI
2019. 01. Lieliska kvalitāte!

Objektīvs Mitutoyo 10x vai 20x
Ximea zinātniskā CMOS kamera

Min zoom ekrāna platums 1.2 mm
Max zoom ekrāna platums 100 mikroni

Attēlā mikrorezonators ar diametru ap
100 mikroni un viļņvads gaismas
ievadīšanai.

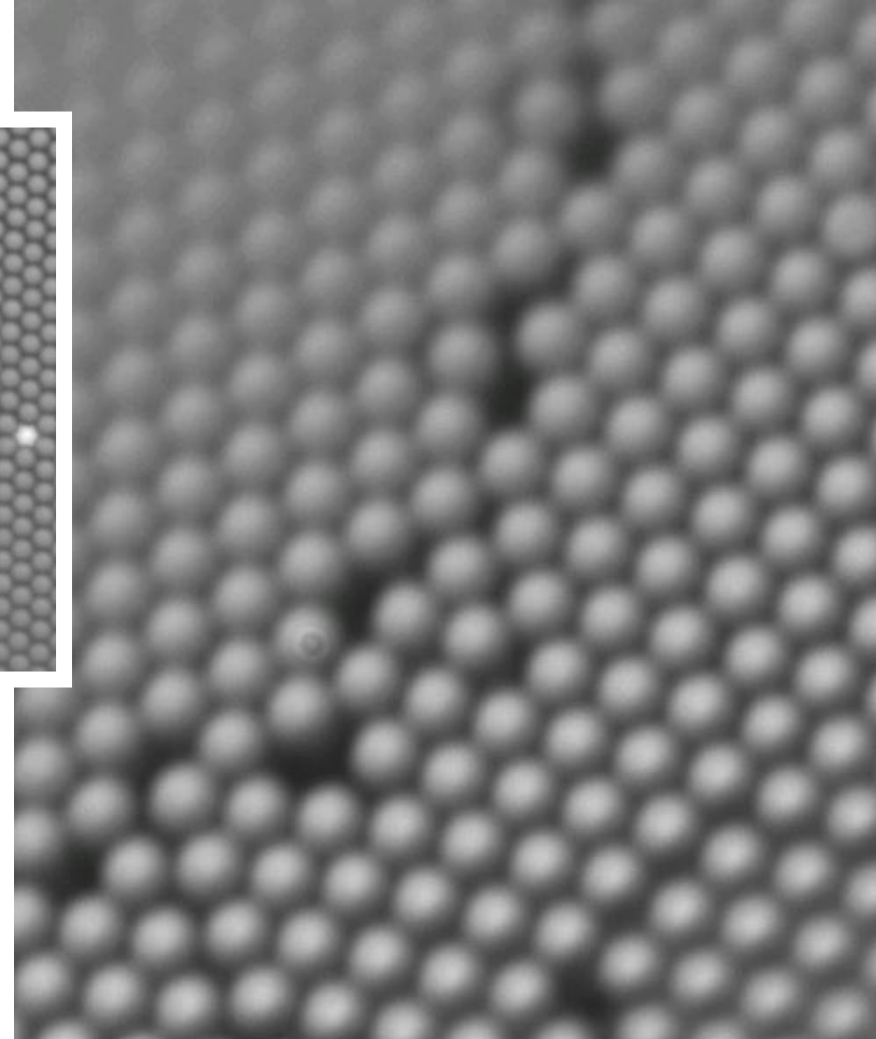
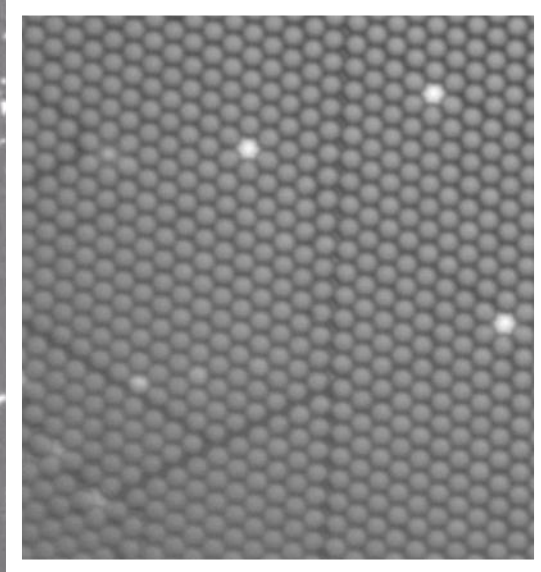
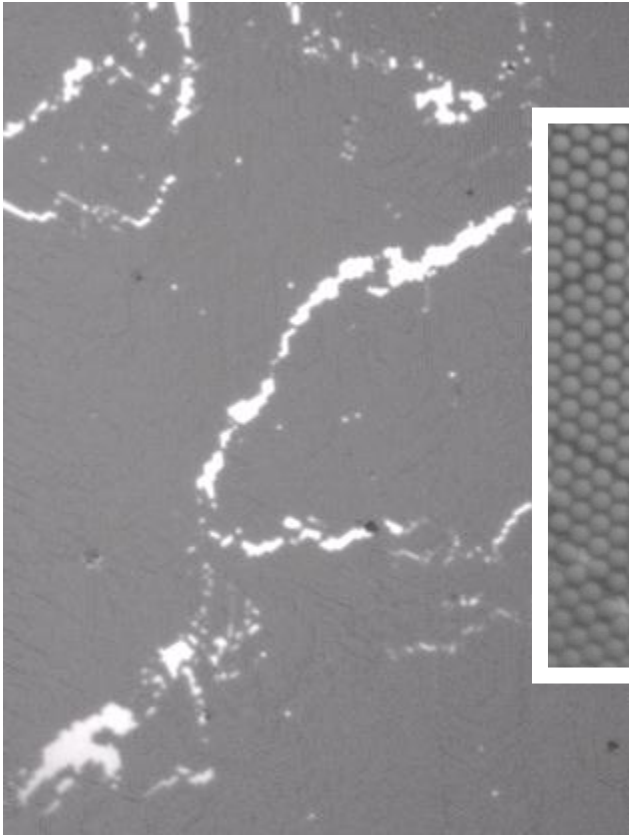
Strādājam pie tā lai iefokusētu lāzera
gaismu viļņvadā un ierosinātu ČGM
rezonanses.

Sample with 5µm monodisperse PS spheres that Roman Viter deposited on Si. Mitutoyo 10x objective

Smallest zoom

Medium zoom

Largest zoom
at an angle



Horiba difrakcijas režģa spektrometrs
paraugu analīzei biosensoriem
Iepirkts LU ASI 2018.
un uzstādīts LU ASI 2019.02.

Horiba (former Yobin-Ivon) spectrometer, Japan,

iHR 320 – the smallest from professional, not the highest resolution

Sincerity - CCD camera cooled – very noisy fan

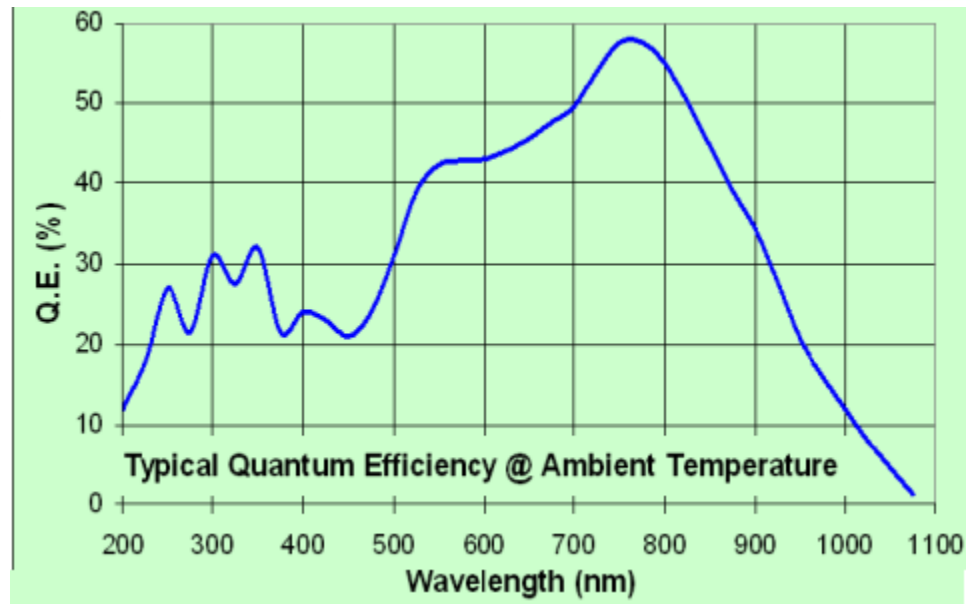
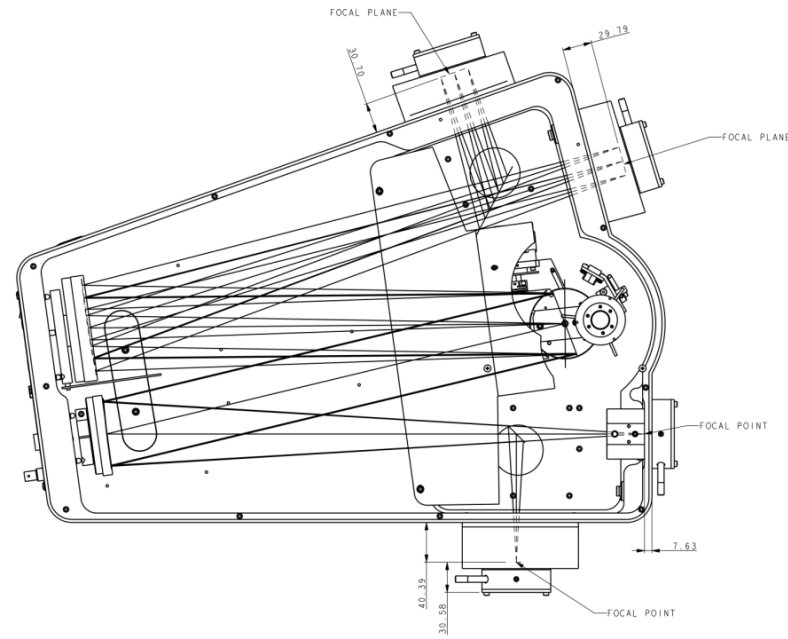
Installation – Horrible with Windows registry editing, copying folders, errors

Software Labspec -when installed - works fine



Table 3-1: Grating Table for the iHR320 (at 500 nm)

Groove Density (grooves/mm)	Typical Spectral Dispersion (nm/mm)**	Typical Array Resolution (nm)*	Typical Spectra Coverage (nm)*
2400	0.87	≤ 0.07 nm	23
1800	1.38	≤ 0.11 nm	37
1200	2.31	≤ 0.18 nm	61
900	3.20	≤ 0.25 nm	85
600	4.94	≤ 0.39 nm	131
300	10.12	≤ 0.79 nm	269
	20.43	≤ 1.59 nm	543



Spectral resolution measurement

Grating 1200 l/mm

Mercury Hg 404 nm line

Measured **FWHM 0.15 nm**



LabSpec 6 - HORIBA Scientific



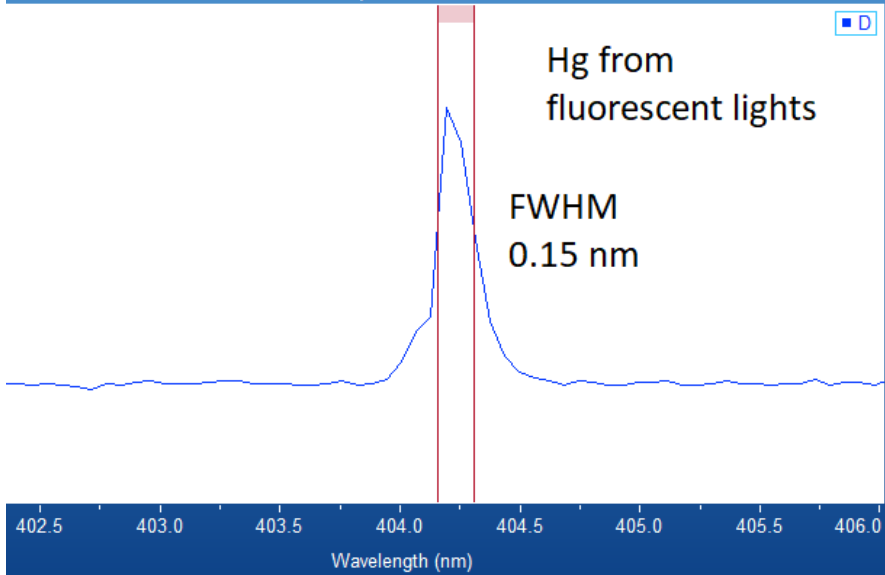
aps LabStore CCD Image Report

Spectrum : D

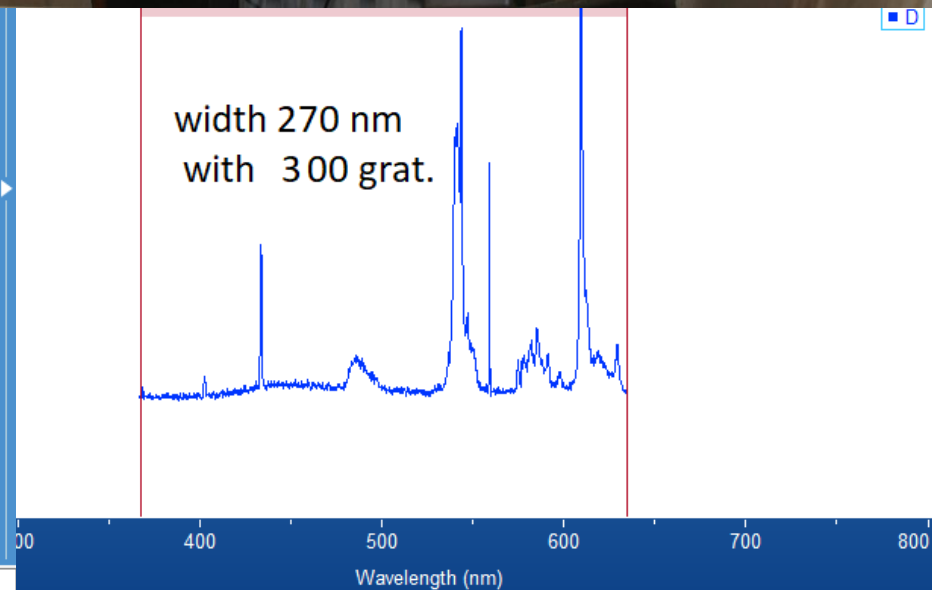
D

Hg from
fluorescent lights

FWHM
0.15 nm



width 270 nm
with 300 grat.



Detector 1200 AE DN SR 400.0

Mēs mēģinām atkārtot interferences vilnīšus ČGMR fluorescencē :

Optica. 2017 ; 4(2): 222–228. doi:10.1364/OPTICA.4.000222.

Whispering-gallery-mode emission from biological luminescent protein microcavity assemblies

Matjaž Humar^{1,2,3} and Seok Hyun Yun^{1,4,*}

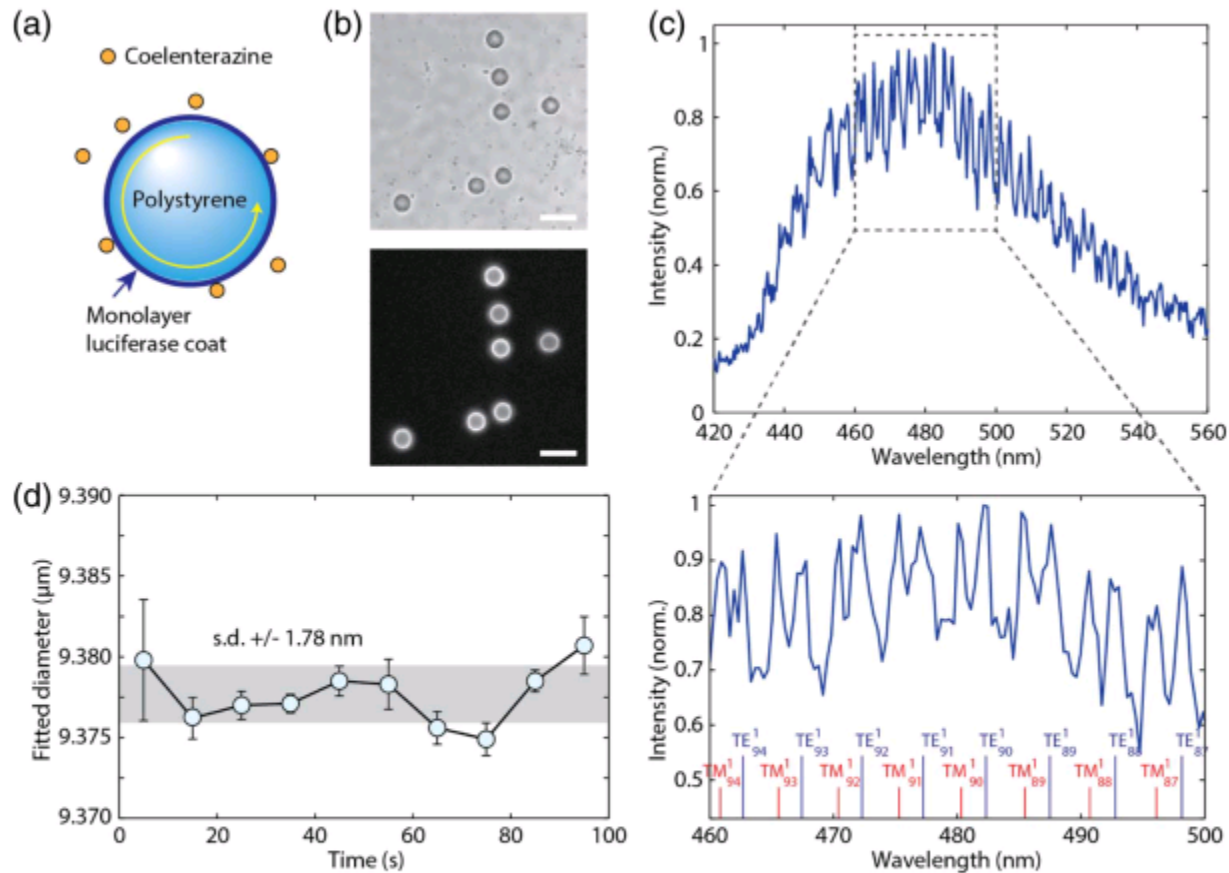
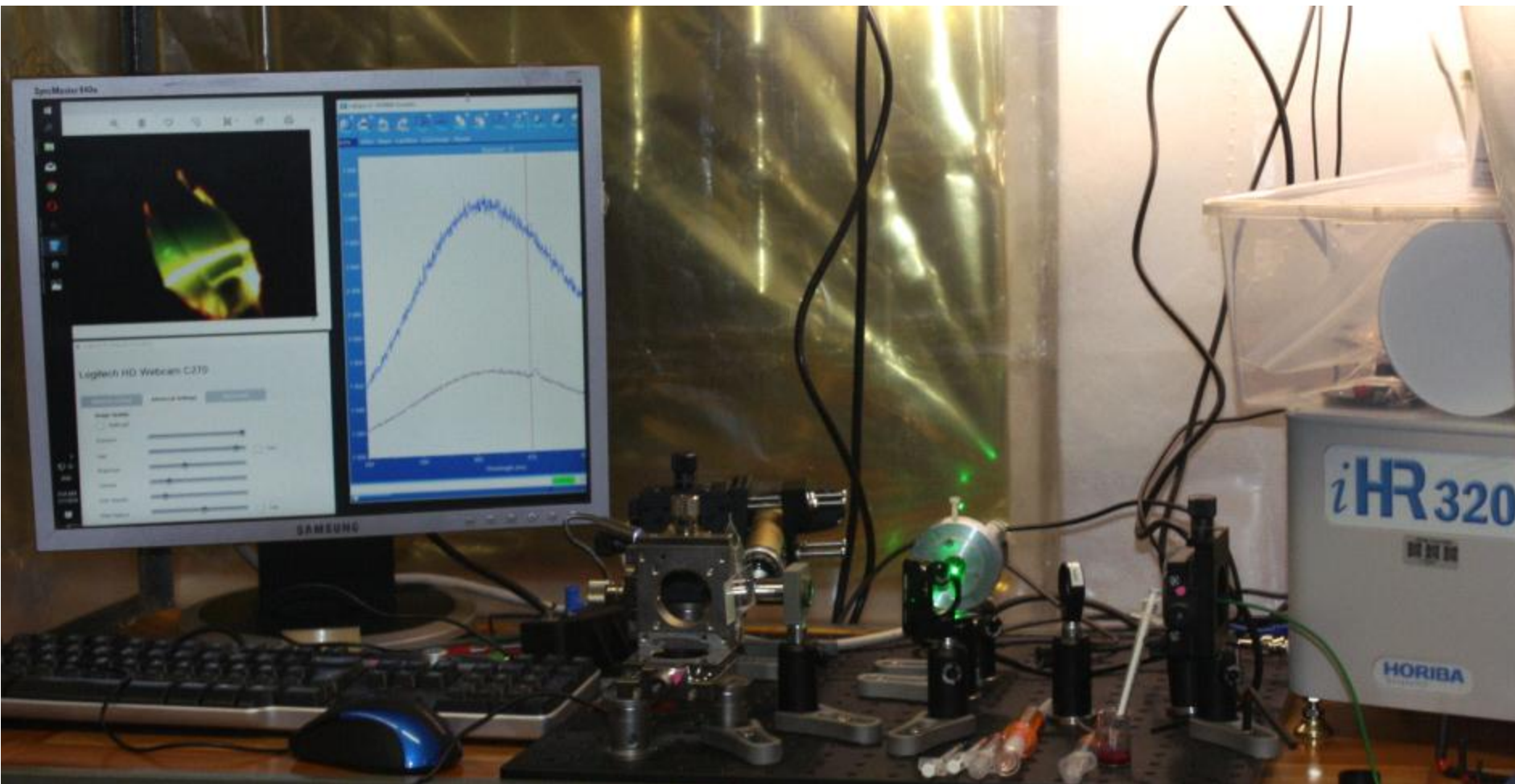


Fig. 5. Cavity-modified bioluminescence. (a) Schematic of a polystyrene or glass bead coated with luciferase proteins. Upon addition of luciferin, light is generated and coupled into WGMs. (b) Bright-field image of polystyrene beads coated with luciferase (top) and bioluminescence emission when CTZ is added (bottom). Scale bar, 20 μm. (c) A representative bioluminescence spectrum from a luciferase-coated bead. The spectral peaks of WGMs are fitted to theory to determine the mode orders and bead diameter. (d) The effective bead diameter measured over time. The standard deviation fluctuation (gray area) is ~190 ppm.

Eksperiments ar spektrometru LU ASI

Rhodamine 6G krāsvielas fluorescence glicerīna mikropilienā redzama labi

Pagaidām periodisko struktūru spektrā vēl neizdodas ieraudzīt
jāmaina krāsvielas koncentrācija un piliena izmēri jāsamazina



Notiek zinātības aprakstu un prototipu dokumentācijas veidošana

Resonator fabrication setup

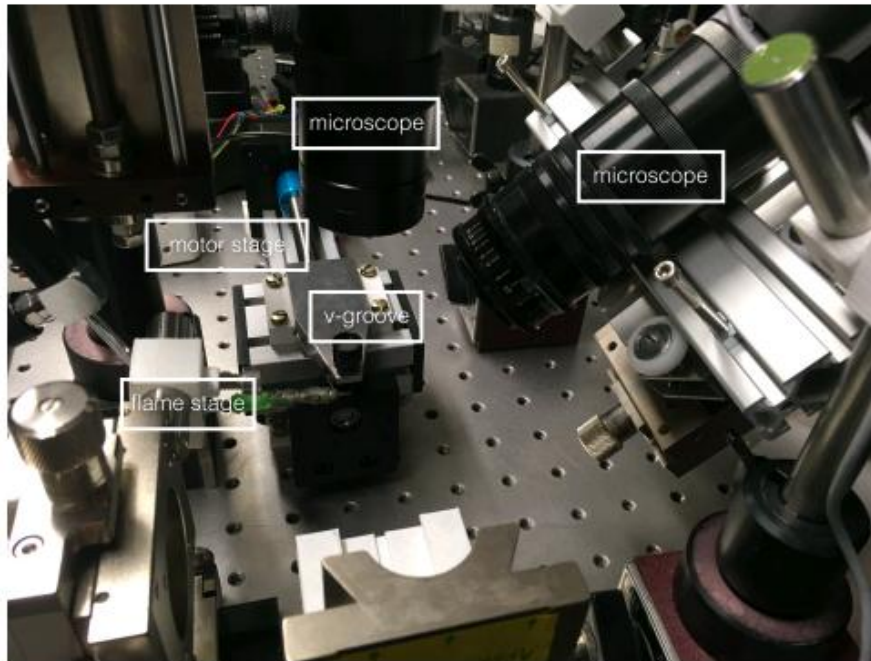









Figure 1.

The resonator fabrication setup consists of 1 motorised stage for moving fiber, 2 microscopes from different angles, hydrogen flame stage. Two CCD cameras and microscopes are used from different angles to check if the resonator is spherical and to observe the fabrication process. One microscope is set for a stationary top view with a relative small magnification and the other one is set in an angle of 45 degrees to make sure that resonator is spherical and symmetrical. It is also built on a slide stage to to easily observe the fiber in whole length.

The pulling stage is controlled by a DC motor with a constant supply voltage of 12 volts, and is easily controllable in both directions by a MCU control unit with directional switches. The motor drives the translation stage that pushes the fiber into the flame, and the delivered length is controlled by the number of motor steps or revolutions. The working principle is based on

	
	Hydrogen flame extruder holder with bar mount
	Hydrogen flame extruder holder cap
	V-groove base holder slider
	V-groove base holder constant
	Bar holder extended
	Front table mount

ERAF projekta darbinieki

LU ASI Kvantu optikas laboratorija 2019.02.

