

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

## **Pirmajā ceturksnī sasniegtais**

FOTONIKA-LV CXXXVI kolokvijs  
30.05.17.

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

# Saturs

1. Projekta vadīšana un publicitāte I.Brice
2. Pārskats un eksperimenti J.Alnis
3. Teorija un modelēšana A.Atvars
4. Biosensoru izstrāde R.Viter (angļu valodā)

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

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

## **Pārskats par pirmajiem 3 mēnešiem**

### **1. Projekta vadīšana un publicitāte**

30.05.17.  
LU ASI  
I. Brice

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 budžets

- Projekta kopējās izmaksas: 648 252,61 EUR, to skaitā ERAF finansējums (85%) - 551 014,72 EUR.
- 1. Avansa pieprasījums 64972 EUR
- Izdevumi darbinieku algas 26487,07 EUR + 25% netiešās izmaksas. Kopā 33108,93 EUR
- 2. Avansa pieprasījums 71 266.25 EUR (sagatavošanā)



# Iepirkumi

- Comsol datorprogrammas iepirkums.
  - a) Izsludināts 27.04.2017. IUB. LU specifikācija. Projektam vajadzīgā iepirkuma sadaļa tika pārtaukta sakarā ar jaunas COMSOL programmatūras versijas iznākšanu 25.04.2017. un līdz ar to nepieciešamību precizēt iepirkuma nolikumu;
- Materiāli iegādes iepirkums 1. (izstrādes stadijā)
- Instrumentu nomas iepirkums. (izstrādes stadijā)

# Darbinieki

- Vadošie pētnieki
  - J. Alnis
  - A. Atvars
  - R. Viter
- Zinātniskie asistenti
  - I. Brice
- Dabaszinātņu laboranti
  - K. Grundšteins
  - A. Pirktiņa
  - A. A. Ūbele



Projekta dalībnieku kopbilde 2017. gada aprīlis.

# Mājas lapa

## [www.lu.lv/cgm/](http://www.lu.lv/cgm/)

The screenshot shows a web browser window displaying the website [www.lu.lv/cgm/](http://www.lu.lv/cgm/). The browser's address bar shows the URL. The website header includes the logo of the University of Latvia (LATVIJAS UNIVERSITĀTE ANNO 1919) and the project title: "ERAF projekts Nr. 1. 1. 1. 1./16/A/259". Below the header, there are logos for the National Development Plan 2020 and the European Union's Regional Development Fund. The main content area features a news article titled "Projekta atskaites seminārs LU ASI" dated 24.05.2017, with a sub-headline "LU ASI seminārā 30.05.2017. ERAF projekta grupa prezentēs sasniegto pirmajos 3 projekta mēnešos". A sidebar on the left contains a navigation menu with items: "Par projektu", "Par CGM", "Komanda", "Rezultāti", "Publicitāte", "Atskaites", "Kvantu optikas laboratorija", "Iepirkumi", and "Kontakti". On the right side, there is a "NOTIKUMU KALENĀRS" (Event Calendar) showing "31. maijs Projekta 1. ceturkšņa beigas" (End of the first quarter of Project 1, May 31st).

ERAF projekts Nr. 1.1.1.1/16/A/259



Mājaslapa  
pieejama  
informācija par  
projektu gan  
latviešu, gan angļu  
valodā.

ENGLISH

LATVIJAS UNIVERSITĀTE ANNO 1919

"ERAF projekts Nr. 1.1.1.1/16/A/259"

REGULĀCIJAS TAVĀ NĀKOTNĒ

PAR PROJEKTU

Sākums > Par projektu

PAR PROJEKTU | PAR CGM | KOMANDA | REZULTĀTI | PUBLICITĀTE | ATSKAITĪES | KVANTU OPTIKAS LABORATORIJA | IEPIRKUMI | KONTAKTI

Par projektu

Pēdējās izmaiņas veiktas: 10.04.2017

ERAF projekts Nr. 1.1.1.1/16/A/259

NACIONĀLAIS ATĪSTĪBAS PLĀNS 2020 | EIROPAS SAVIENĪBA | Eiropas Reģionālās attīstības fonds

REGULĀCIJAS TAVĀ NĀKOTNĒ

Projekta nosaukums: Jaunu čukstošās galerijas modu mikrorezonatoru izstrāde un raksturošana

Projekta mērķis: jaunu zināšanu-zinātnes iegūšana CGM rezonatoru mērķu sasniegšanu, zinātnes un tehnoloģiju cilvēkkapitāla attīstību un tās ieviešanu

Projekta īstenošanas laiks: 01.03.2017. - 30.08.2019. (2,5 gadi)

Projekta kopējās izmaksas: 648 252,61 EUR, to skaitā ERAF finansējums: 400 000,00 EUR

Drukāt  
Sašaurināt tekstu  
Sadalīt tekstu kolonnās

LATVIĒŠU

LATVIJAS UNIVERSITĀTE ANNO 1919 UNIVERSITY OF LATVIA

"ERDF project No. 1.1.1.1/16/A/259"

WWW.LU.LV/CGM/ENG

ABOUT PROJECT

Home > About project

ABOUT PROJECT | ABOUT WGM | TEAM | RESULTS | PUBLICITY | REPORTS | QUANTUM OPTICS LABORATORY | CONTACTS

About project

Last Update 10.03.2017

ERDF project Nr. 1.1.1.1/16/A/259

NATIONAL DEVELOPMENT PLAN 2020 | EUROPEAN UNION | European Regional Development Fund

INVESTING IN YOUR FUTURE

**Project title:** Development of novel WGM microresonators for optical frequency standards and biosensors, and their characterization with a femtosecond optical frequency comb

**Project aim:** to acquire new knowledge of know-how in design, stabilizing and modeling of the WGM resonator, and the detection of biomolecule using the resonator, thus supporting the objectives of the Latvian Smart specialization, scientific and technological development of human capital and the creation of new knowledge for economy to improve competitiveness.

**Project period:** 01.03.2017. - 30.08.2019.

**Brief description of the project summary**

Whispering-gallery mode (WGM) resonators are made of a round shaped optically transparent material and keep inside and circulating the light in light wave using the total internal reflection effect. One of the WGM

Print  
Reduce text width  
Divide text into columns

ERAF projekts Nr. 1.1.1.1/16/A/259

## IEPIRKUMI

Sākums > Iepirkumi

PAR PROJEKTU | PAR CGM | KOMANDA | REZULTĀTI | PUBLICĪTĀTE | ATSKAITES | KVANTU OPTIKAS LABORATORIJA | **IEPIRKUMI** | KONTAKTI

### Iepirkumi

Pēdējās izmaiņas veiktas:  
24.05.2017

Drukāt  
Sašaurināt tekstu  
Sadalīt tekstu kolonnās

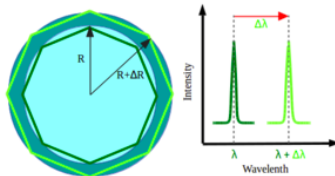
1. Comsol datorprogrammas iepirkums.

a) Izludināts 27.04.2017. IUB. LU specifikācija. Projektam vajadzīgā iepirkuma sadaļa tika pārtaukta sakarā ar jaunās COMSOL programmatūras versijas iznākšanu 25.04.2017. un līdz ar to nepieciešamību precizēt iepirkuma nolikumu;

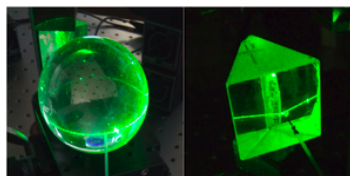
2. Materiāli iegādes iepirkums 1. (izstrādes stadijā)

3. Instrumentu nomas iepirkums. (izstrādes stadijā)

Čukstošo galeriju modu (ČGM) rezonatori ir izpelnījušies īpašu pētnieku uzmanību savu unikālo īpašību dēļ. ČGM veidojas gaismai atstarojoties no ieliekta virsmas, un modas trajektoriju rezonatorā var iedomāties kā vienādmalu daudzstūri, ko ierobežo tā virsma. Rezonatora ģeometrijas simetriskās prasības ir vienkārši apmierināt, jo nepieciešama vai nu sfēriska simetrija (mikrostēra, mikroburbulis), vai arī cilindriska simetrija (mikrodisks, mikrogrezdens, mikrotoroīds). Tā kā ČGM rezonatora rezonanses frekvence ir atkarīga gan no tā izmēra  $R$ , gan refrakcijas koeficienta  $n$ , tad nelielas izmēra izmaiņas  $\Delta R$  vai refrakcijas koeficienta izmaiņas  $\Delta n$  rada ievērojamu rezonanses frekvences modas nobīdi  $\Delta\lambda$ . Šī augstā jutība pavēr iespēju ČGM rezonatorus izmantot dažādiem pielietojumiem, gan kā filtrus, gan kā lāzera rezonatorus, gan arī kā sensorus.



Lai praktiski pielietotu mikrorezonatorus, ir nepieciešams efektīvs veids kā gaismas staru ievadīt rezonatorā. Viens no veidiem kā sapārot gaismu ir izmantot prizmu ar lielu laušanas koeficientu. Gaismas stars nonāk prizmā un pilnīgas iekšējās atstarošanās dēļ atstarojas no prizmas virsmas. Tomēr gaismas elektromagnētiskais lauks nedaudz izspiežas ārpus prizmas un var pārklāties ar gaismas lauku, kas izspiežas ārpus rezonatora.

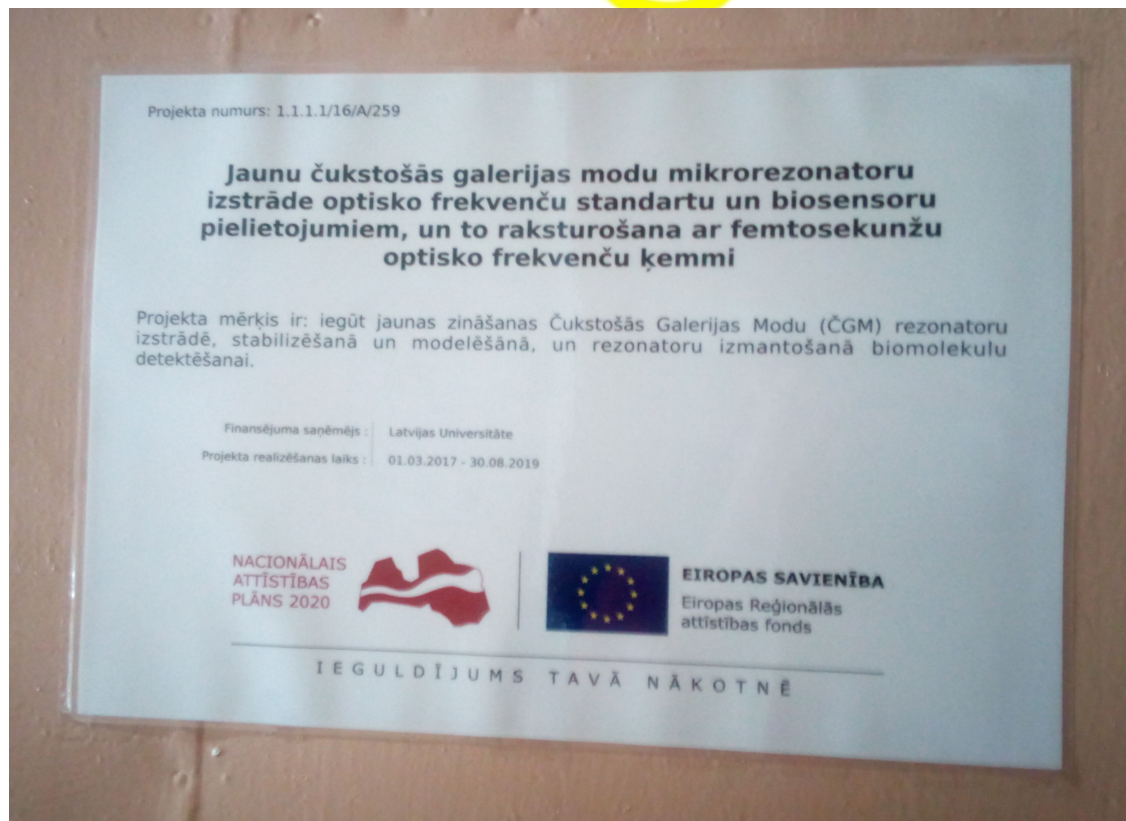


Attēlā pa kreisi redzams, kā ar prizmas palīdzību sfēriskā stikla lodē, kuras diametrs ir 6 cm, ievadīts lāzera stars. Spīdošā zaļā josta lodes vidū tad arī ir ČGM. Attēlā pa labi tika atkārtos eksperiments ar ievērojami mazāka izmēra lodi, kuras diametrs ir tikai aptuveni milimetrs.

Mājaslapā  
pieejamā  
informācija tiek  
regulāri  
atsvaidzināta.  
Piemēram,  
izveidota sadaļa  
iepirkumi un  
papildināta sadaļa  
par CGM  
rezonatoriem.

# Publicitāte

LU ASI ir izvietota informatīva plāksne un plakāts par projektu.



ERAF projekts Nr. 1.1.1.1/16/A/259

# Publicitāte

Lietotnes W Izumo: Takeki Tso Sooky's Kitchen Sci-Hub: removin Yaoi - Nihonomar Portable breath



The screenshot shows the website of the Institute of Atomic Physics and Spectroscopy at the University of Latvia. The main headline reads: "LU Atomfizikas un spektroskopijas institūts aicina uz kolokviju par sasniegto trīs mēnešos". The article details a colloquium on the 30th of May at 10:00-11:00. It lists a seminar program with topics such as "10:00 A. Ūbetis. Runātāja cildināšana (Welcome)", "10:15 J.Ainis, A.Alvars, R.Vīter, I.Brice, A.Ūbele, A.Pirkīna, K.Grundšteins, ERAF projekts "Jaunu cukstošās galerijas modu mikrorezonatoru izstrāde optisko frekvenču standartu un biosensoru pielietojumiem, un to raksturošana ar femtosekundu optisko frekvenču ķemni". and "11:00 - 11:30 Diskusija un kafija". The article also includes contact information for the institute and details about the ERAF project.

LU mājas lapas ziņu sadaļā tika publicēts aicinājums uz FOTONIKA-LV CXXXVI kolokviju, kurā tika ziņots par projektā sasniegto pirmajos 3 mēnešos.

ERAF projekts Nr. 1.1.1.1/16/A/259

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

## 2. Pārskats un eksperimenti

1. Čukstošās Galerijas modu rezonatoru izstrāde un modelēšana.
2. ČGM optiskais standarts stabilizēts uz Rb.
3. ČGM rezonatori bioloģisko molekulu detektēšanai (biosensori).

**Jānis Alnis** zinātniskais vadītājs  
**Romāns Viters** jaunais zinātnieks – vad. pētn.  
**Aigars Atvars** jaunais zinātnieks – vad. pētn.

**Inga Brice** doktorante - zin. asist.

**Kārlis Grunšteins** maģistrantss- laborants  
**Alma Ūbele / Antons Pribitoks** bakalaurants  
- laborants  
**Andra Pirktiņa** bakalaurants - laborants

30.05.17.  
LU ASI  
J. Alnis

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020

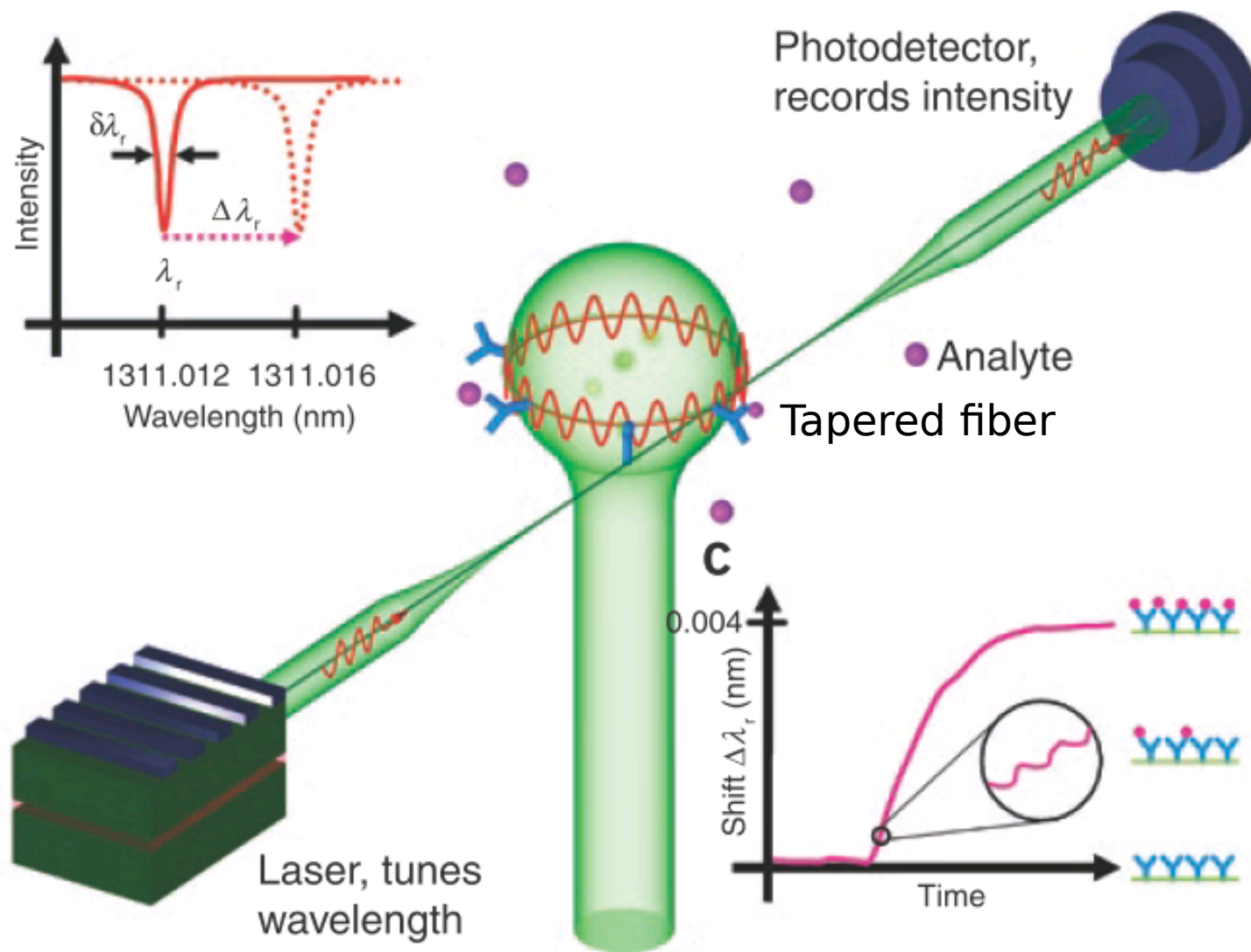


**EIROPAS SAVIENĪBA**

Eiropas Reģionālās  
attīstības fonds

# ČGMR biosensors, gaismu ievadot ar šķiedru

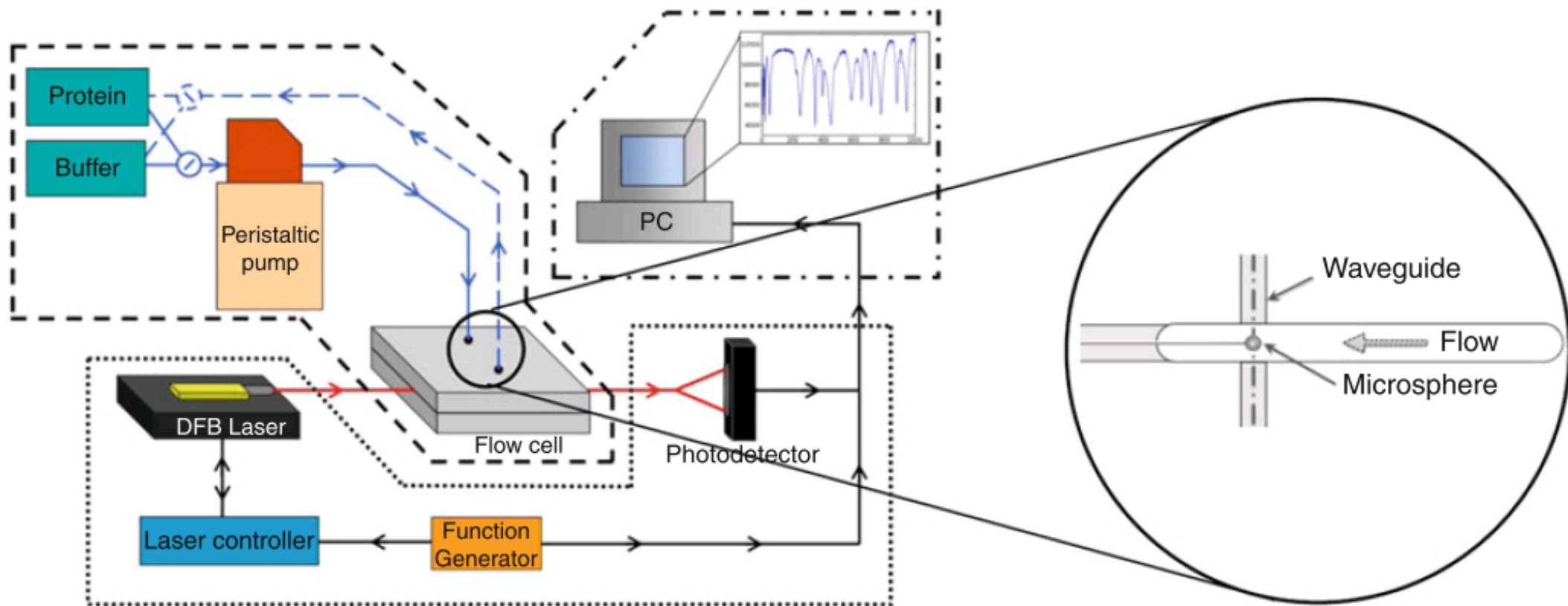
Plānojam līdzīgu. R. Viter veiks ČGMR pārklājumus ar antivielām.



# ČGMR biosensora eksperiments

Atkārtosim ERAF laikā. R. Viter nodarbošies ar bioloģisko un pārklājumiem.

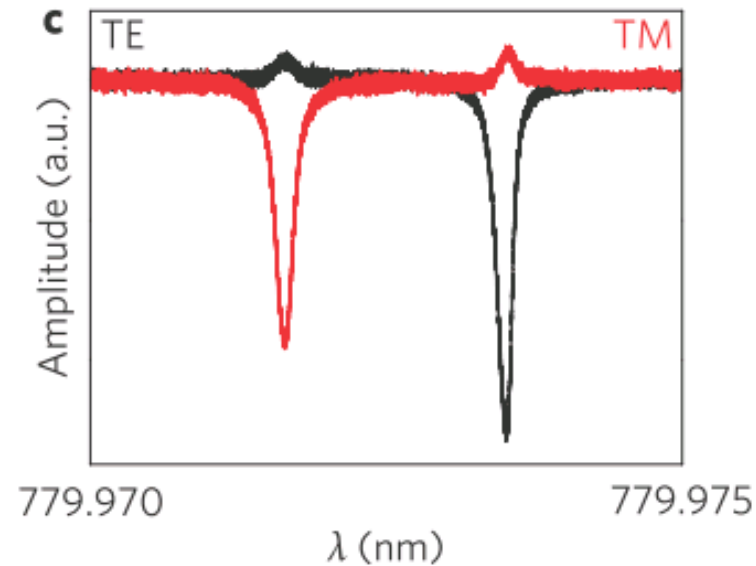
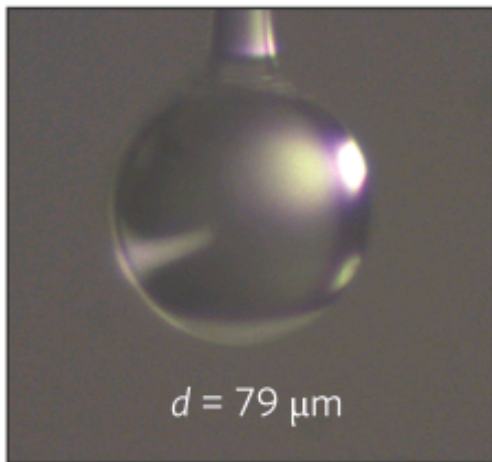
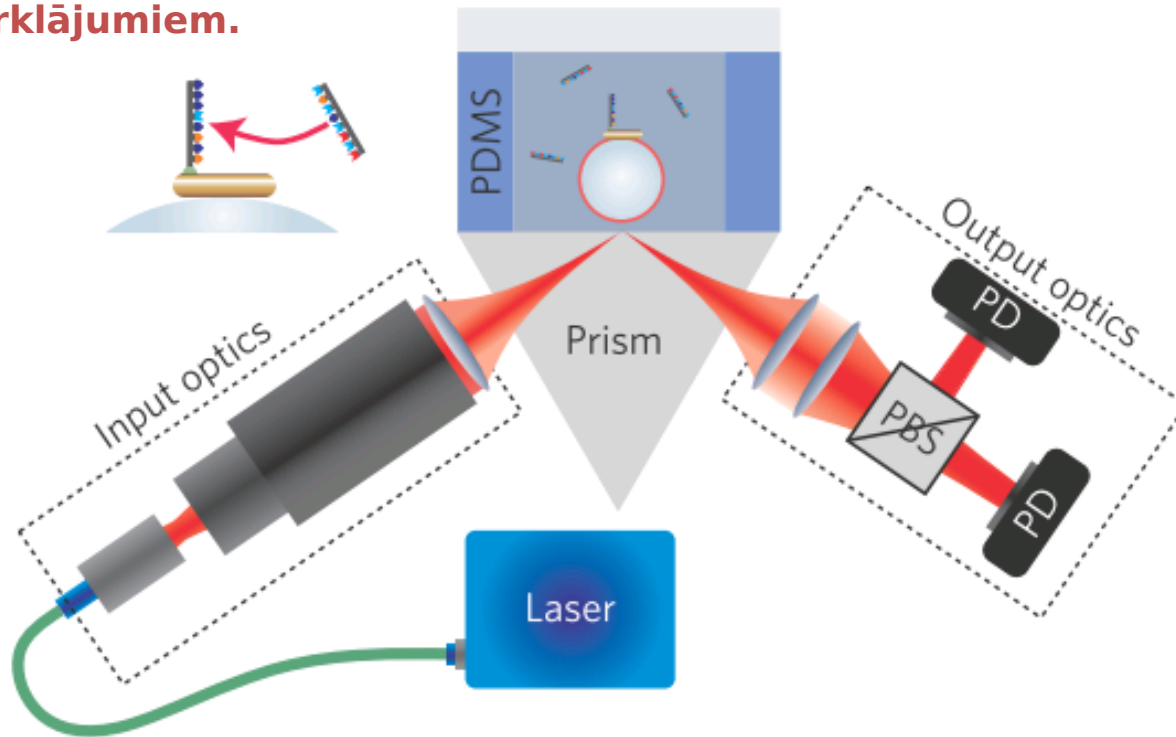
## Whispering Gallery Mode Resonator Biosensors



Book by Frank Vollmer

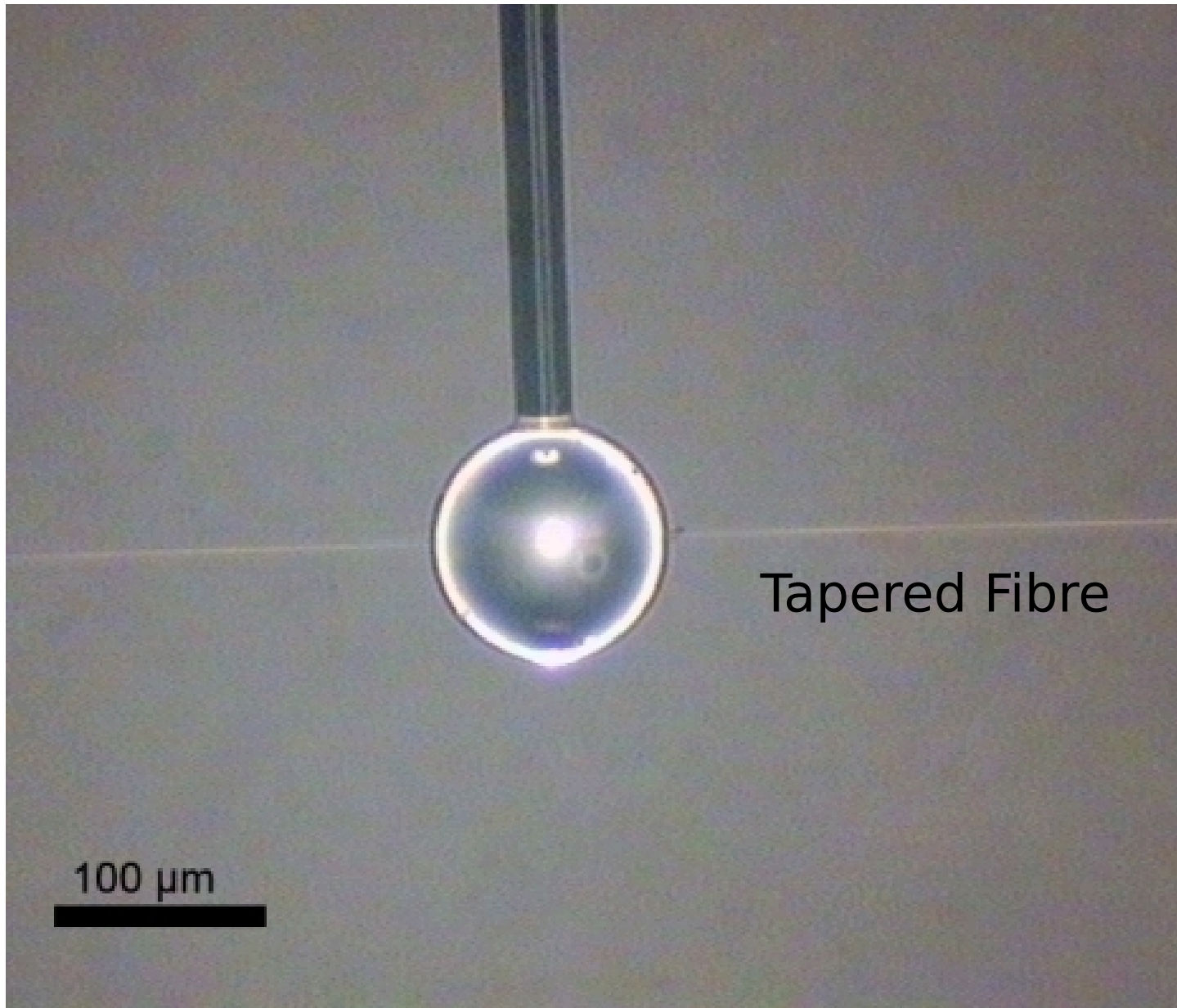
# ČGMR biosensors, gaismu ievadot ar prizmu

Uztaisīsim ERAF laikā. R. Viter nodarbosies ar bioloģisko daļu un pārklājumiem.





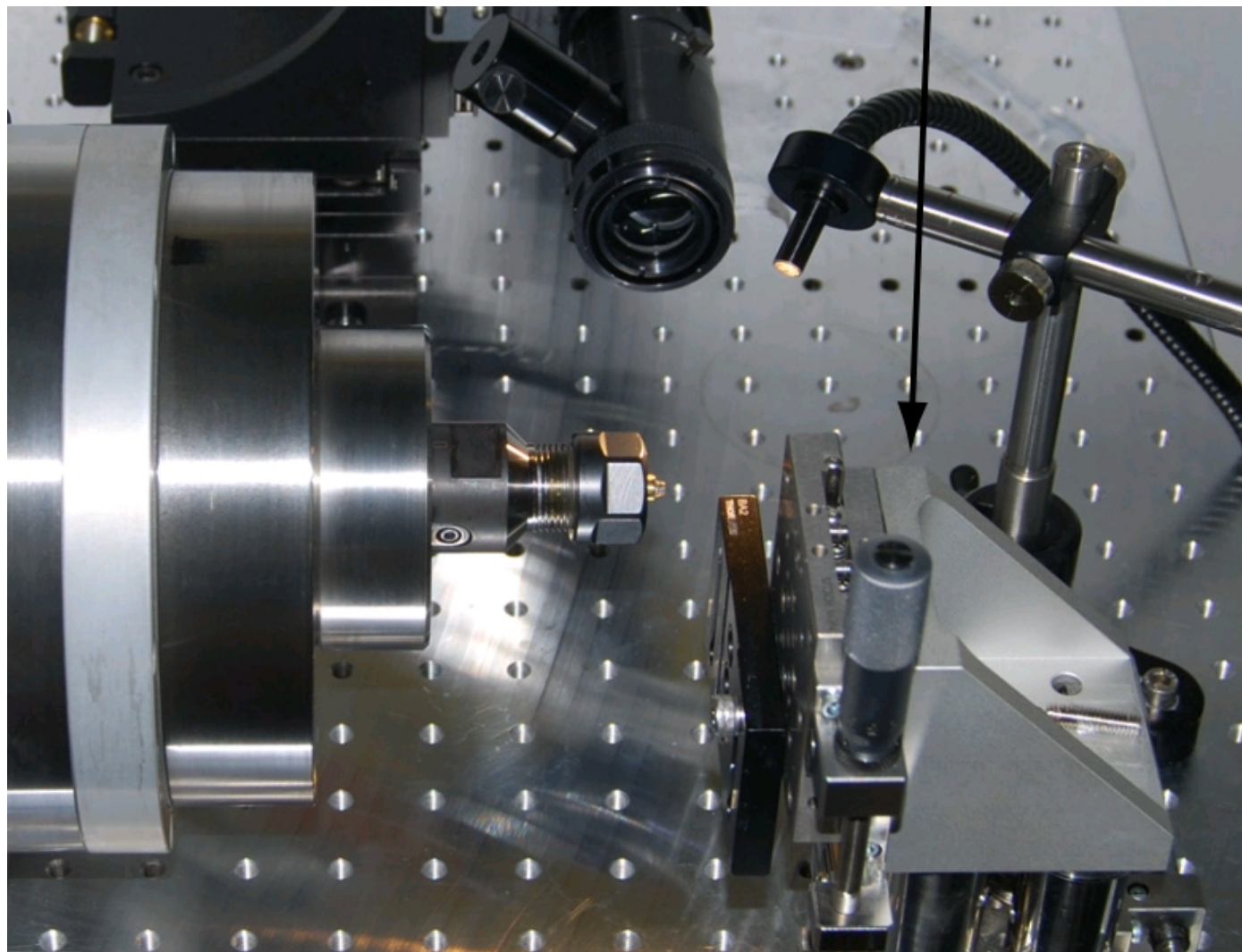
# Sāksim ar stikla vai kvarca bumbiņu kausēšanu ASI stikla pūtēja darbnīcā. **A. Atvars, J. Alnis.**



# CaF<sub>2</sub> un MgF<sub>2</sub> ČGM rezonatoru slīpēšanas stends

J.Alnis et al, Phys Rev. A 2011, I.Feschenko et al.Opt. Expr. 2012

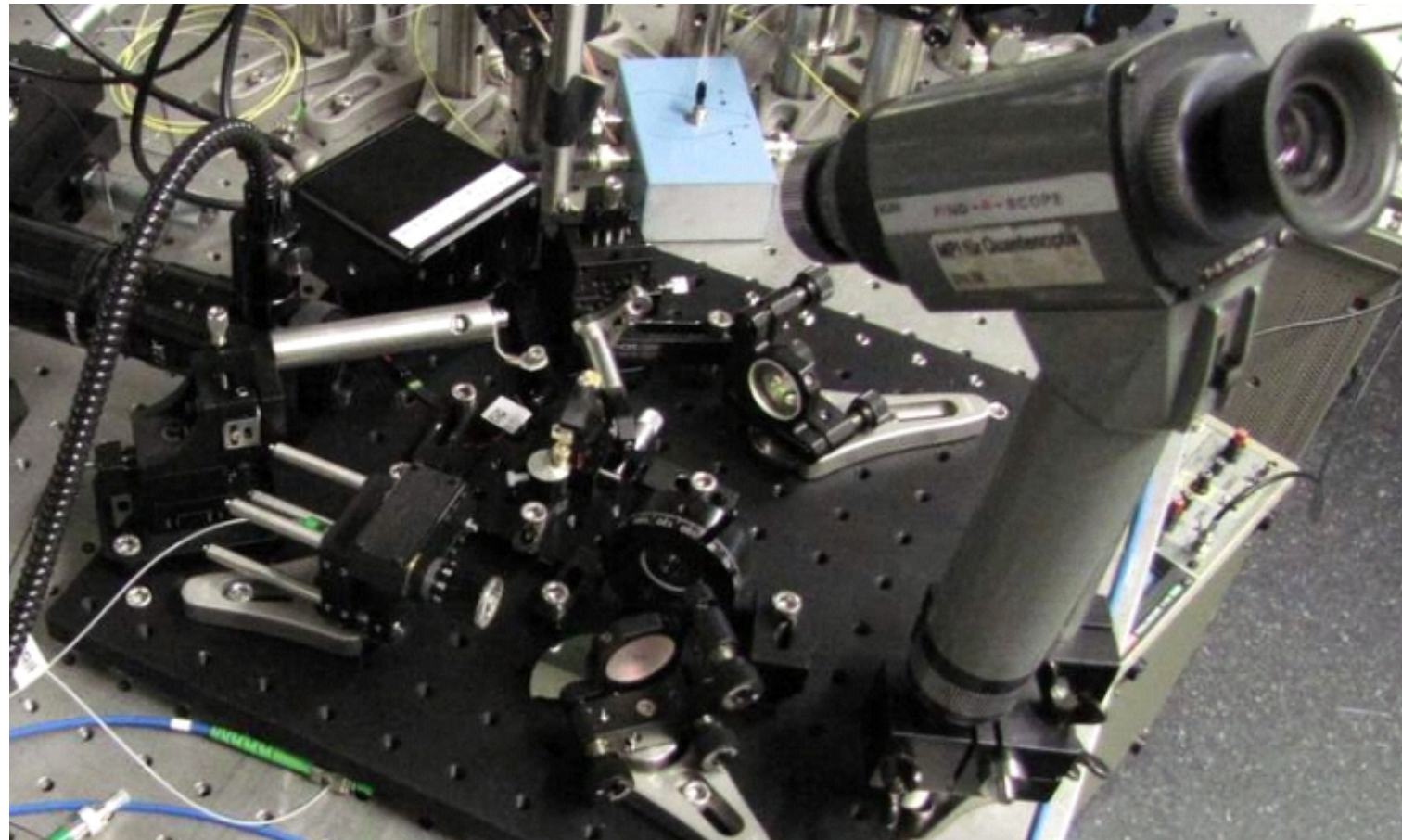
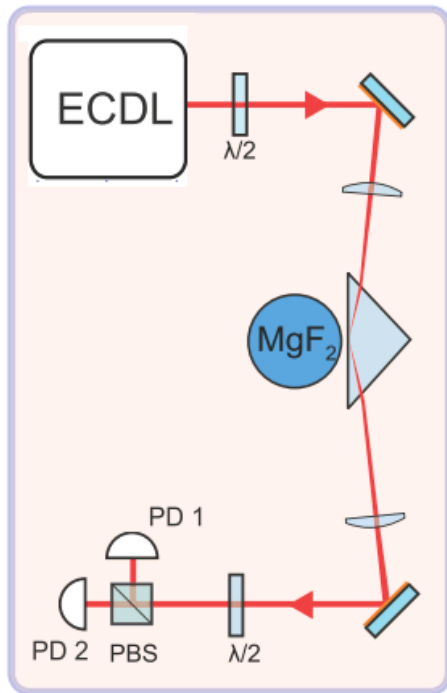
**Izgatavosim LV ERAF laikā. J. Alnis, I.Brice.**



# CaF<sub>2</sub> un MgF<sub>2</sub> ČGM rezonatori lāzeru stabilizācijai

J.Alnis et al, Phys Rev. A 2011, I.Feschenko et al.Opt. Expr. 2012

**Izgatavosim LV ERAF laikā. J. Alnis, I.Brice.**



# ČGMR termiskā dreifa novēršana, piesaistot pie Rb atomu līnijas

Uzbūvēsim ERAF laikā. J. Alnis, I. Brice

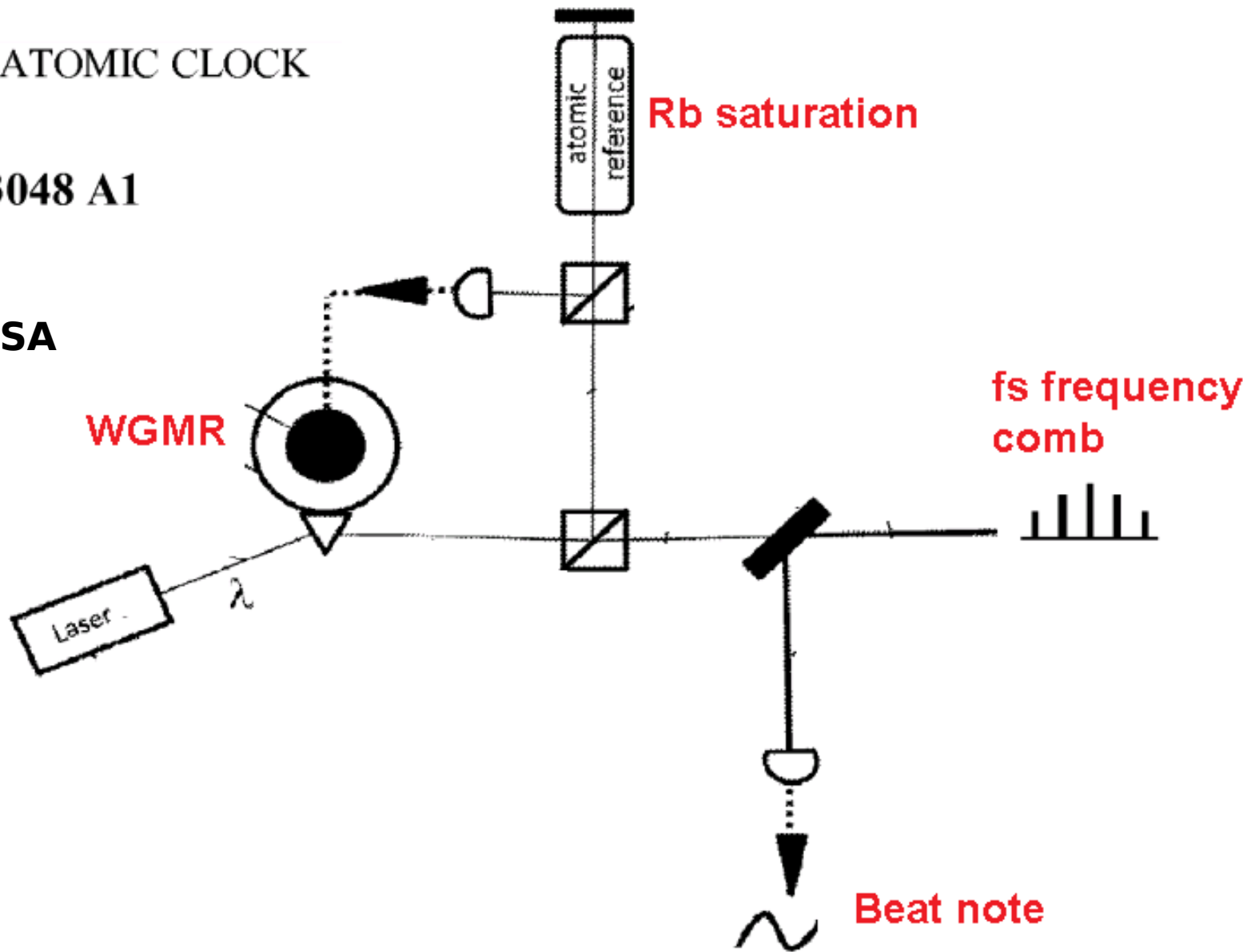
Title: OPTICAL ATOMIC CLOCK

Patent

WO 2015/143048 A1

(24.09.2015)

OEwaves inc. USA

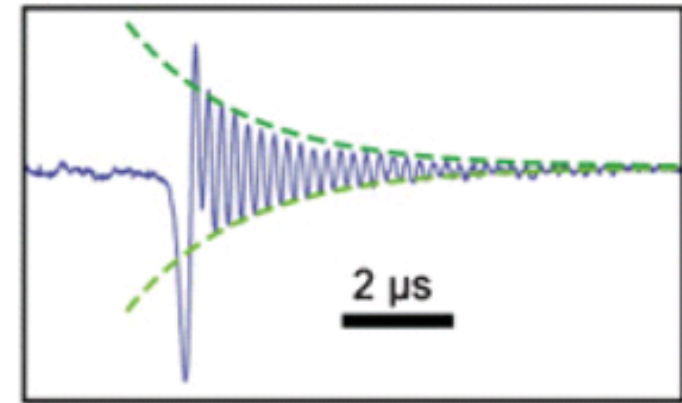


## ČGMR labās un sliktās īpašības

- + Iespējams izgatavot mājas apstākļos
- + Nav nepieciešami spoguļpārklājumi
- + Augsts optisko rezonanšu labums
- + Kompakti - sensori uz mikroshēmas, kosmosam

- Prizmas ievadišana, grūti ieregulēt
- Trapecveida šķiedras ievade - trausla
- Virsma degradējas.

**Izmēģināt litogrāfijas metodi gaismas ievadei ČGMR.**



Light lifetime  
5 mm CaF<sub>2</sub> WGMR

**150 m**

# Ziņojums konferencē par WGMR piesaistes plānu rubīdija atomu piesātinājuma spektroskopijas absorbcijas līnijām.

Open Readings 2017

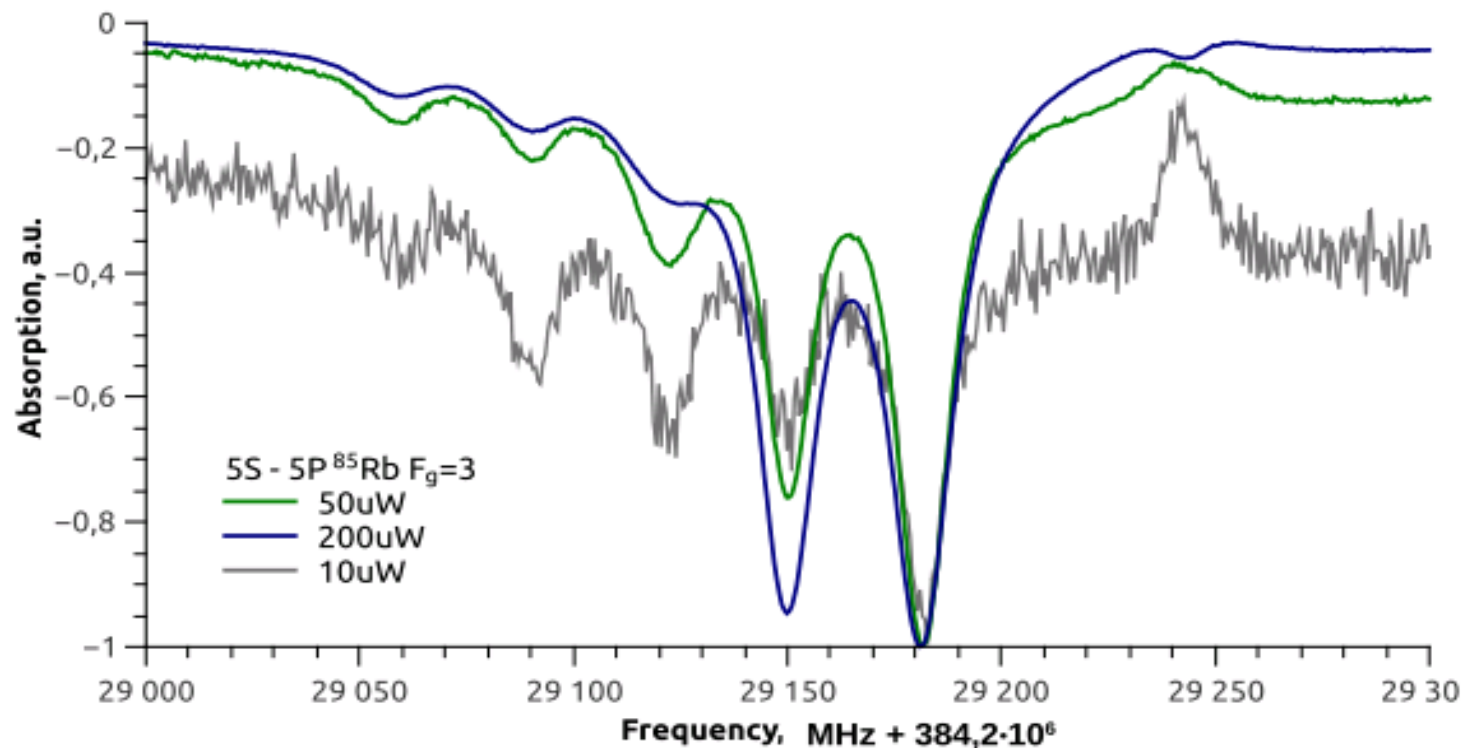


## TOWARDS WGM RESONATOR STABILISED ON RB 5S-5P LINES

Inga Brice, Antons Pribitoks, Janis Alnis

Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, University of Latvia, Riga, Latvia  
[inga02@inbox.lv](mailto:inga02@inbox.lv)

Frequency stability is regarded as absence of frequency drift or maintaining a single fixed frequency as long as



# WGMR Iodītes uzkausēšana optiskās šķiedras galā propāna-skābekļa liesmā. Rezultāti prezentēti DOC 2017 konferencē.

13th International Young Scientist conference

*Developments in Optics and  
Communications 2017*

**Riga, Latvia, April 6 - 7, 2017**

**P03** Andra Pirkina

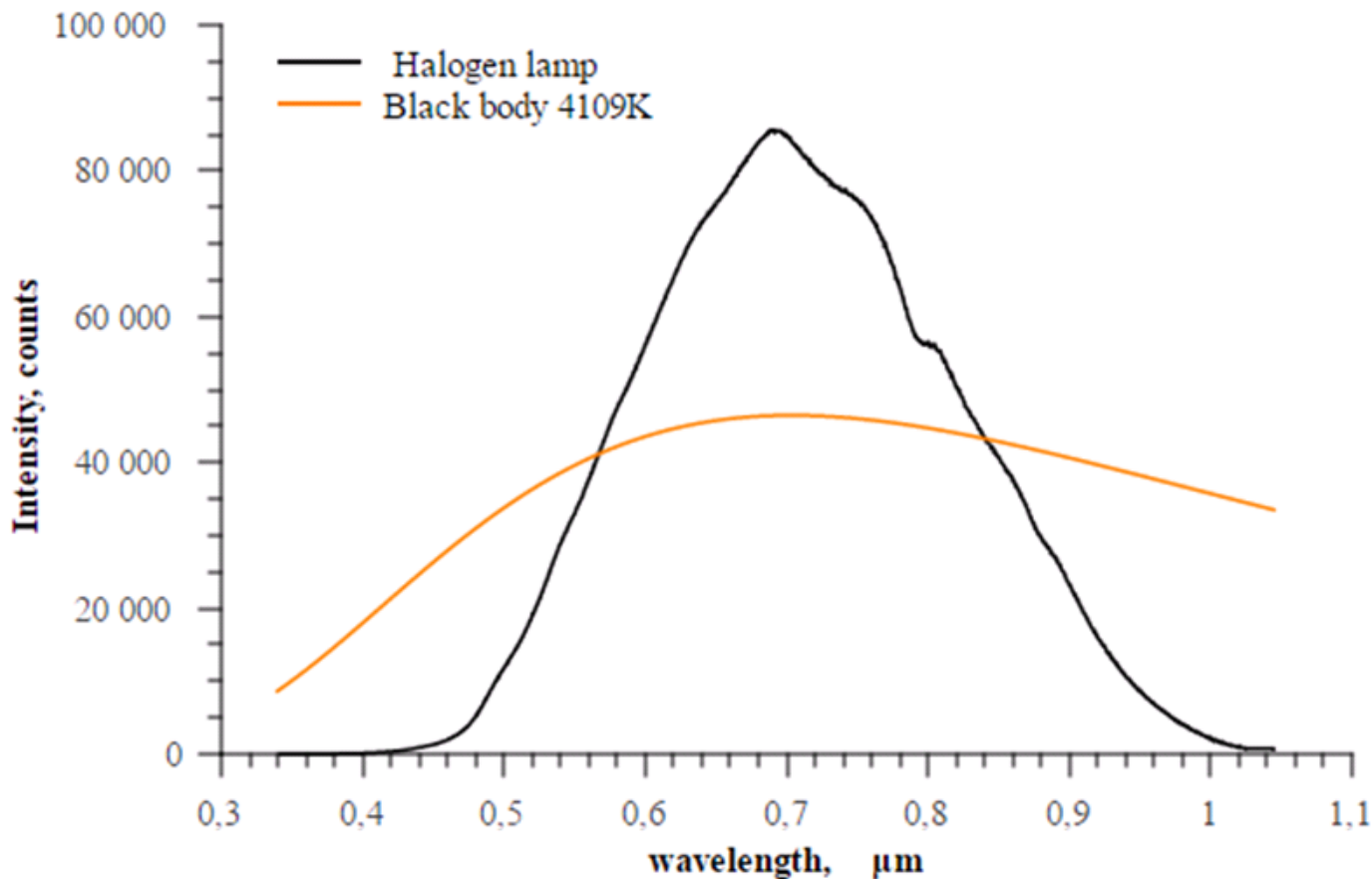
Estimation of optical fiber melting temperature from the Planck's  
law using a grating spectrometer . . . . .

18



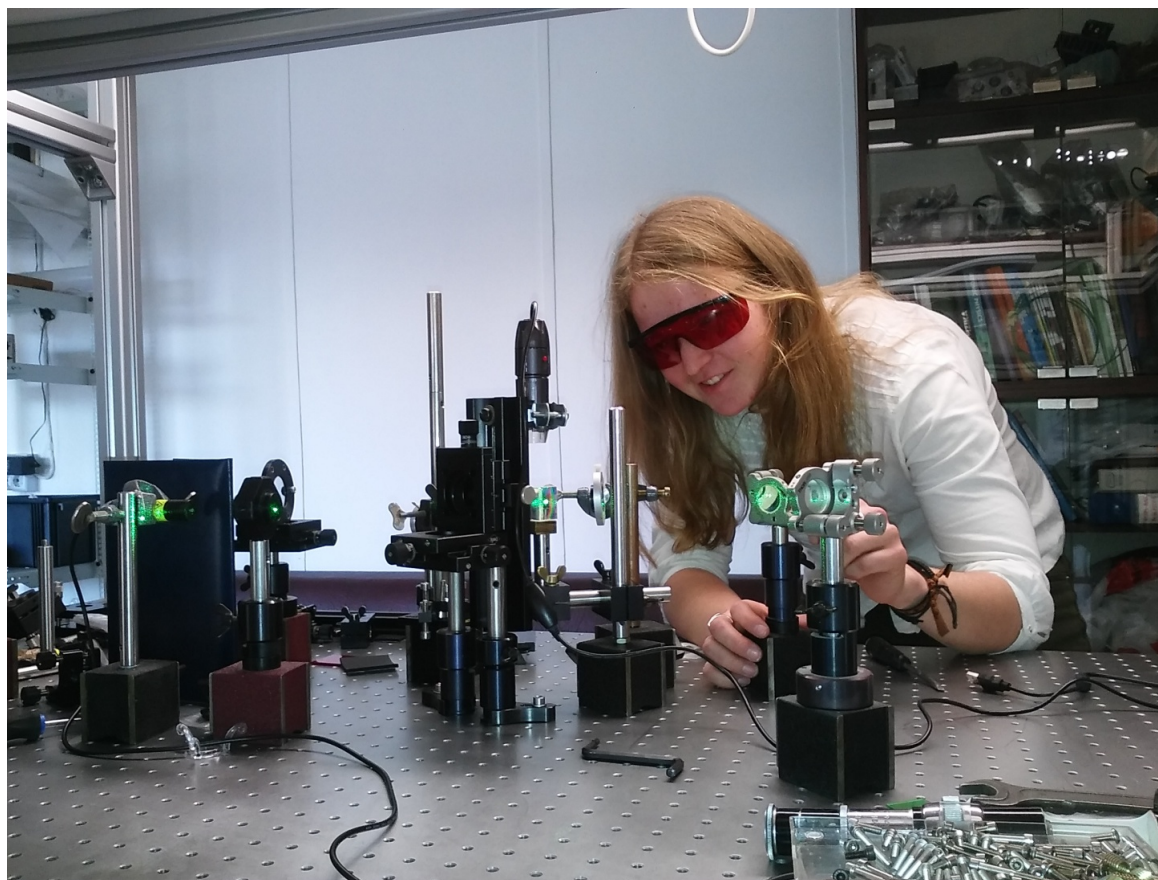
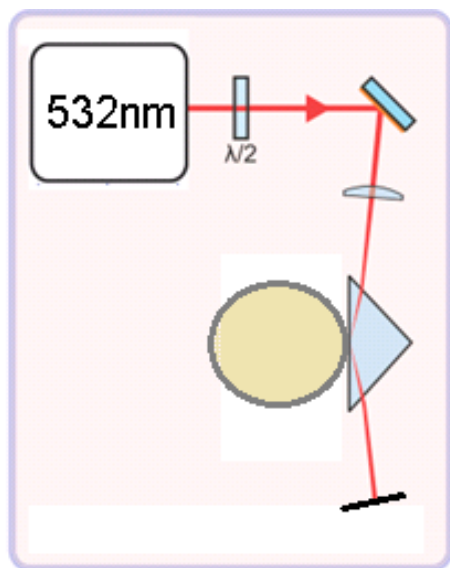
# Fitēšana ar Planka termiskā starojuma formulu

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{hc} \frac{1}{\lambda^5 (e^{\frac{\lambda k_B T}{hc}} - 1)}$$



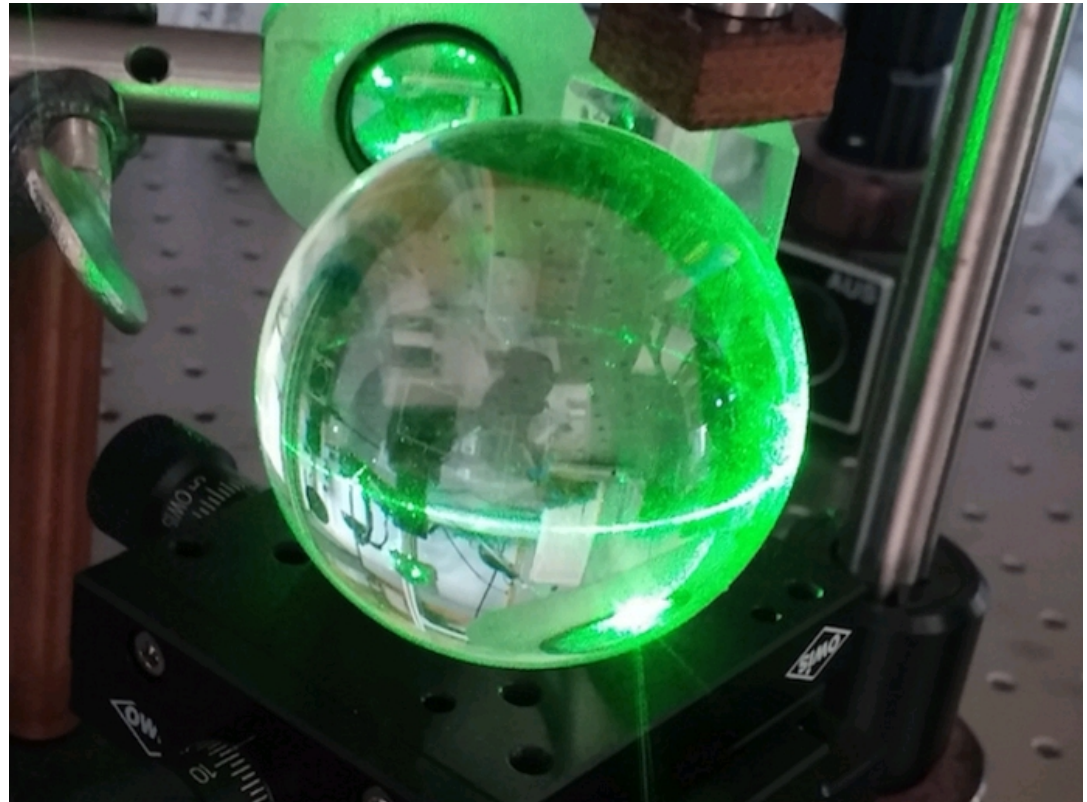


# Prototipa iekārtas komplektēšana un regulēšana zaļā lāzera gaismas ievadišanai WGMR.



# Čukstošās galerijas modas starojums lielā lodes rezonatorā, $d \approx 6 \text{ cm}$

- Trenējāties ar 6 cm diametrā WGMR. Ja staru laiž bez prizmas, tad ar aci varam novērot iekšējās atstarošanās punktus.
- Pārlicinājāties, ka varam ievadīt gaismu virsmas vilnī izmantojot prizmu. Novērojām fluorescenci sarkanā krāsā, virsmu nosmērējot ar krāsainu flomāsteri. Svarīgs fakts, ka gaisma iet pa virsmas vilni un nevis iekšā atstarojas lēcieniem.



- Ierakstījām Youtube video

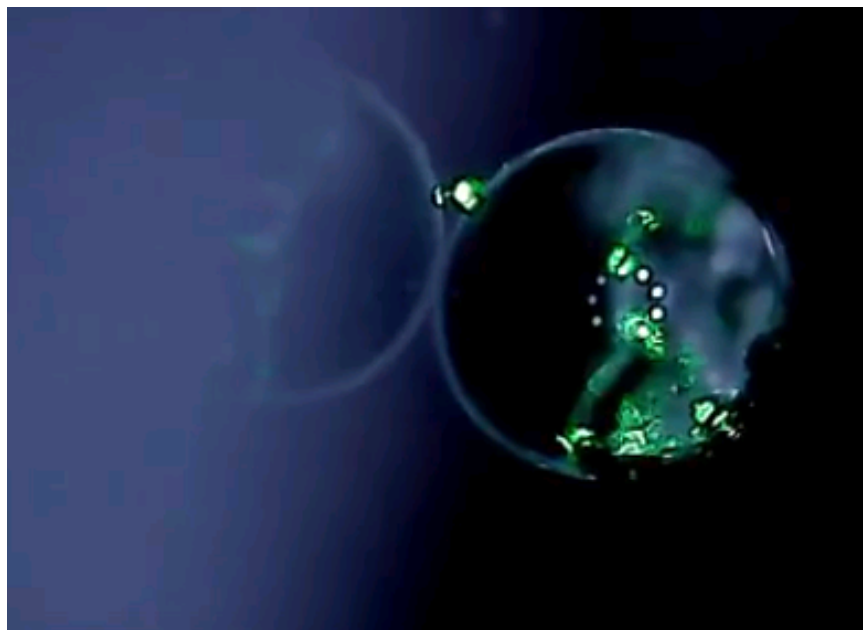
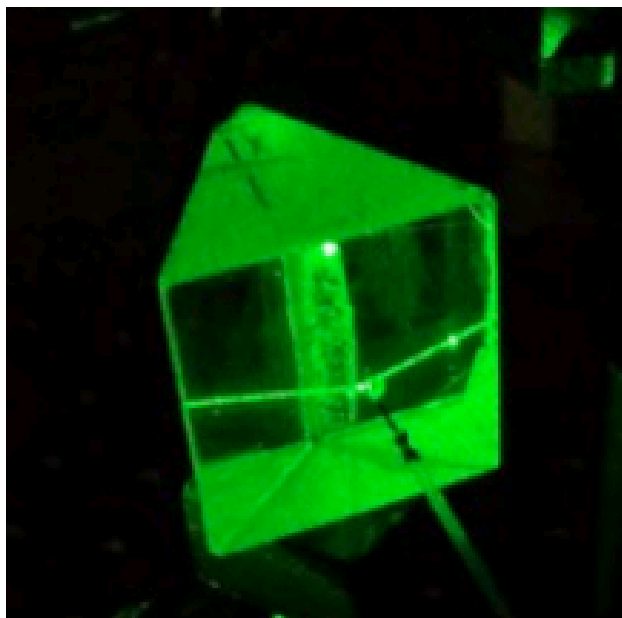
[https://  
www.youtube.com/watch?v=j7  
MxQRNx8-U](https://www.youtube.com/watch?v=j7MxQRNx8-U)

# Čukstošās galerijas modas starojums mazā lodes rezonatorā, $d \approx 1$ mm

Ēc lielās lodes pārgājām uz gaismas ievadi apmeram 1 mm diametra lodītes rezonatoru izveidojām kausējot šķiedras galu liesmā.

Iz šo rezonatoru skatījāmies caur datoram pieslēgtu USB mikroskopu un ierakstījām video. Redzama izkliedētā zaļā lāzera gaisma un atspīdums prizmā.

<https://www.youtube.com/watch?v=EEZHJD82Z2M>



Pētījām dažādu optisko mikroskopu izšķirtspēju un darba attālumus:

USB mikroskops,  
medicīna smikroskops,  
juveliermikroskops,  
elektronika mikroskops.

Uzdevums, lai mikroskopa objektīvs nebūtu tuvu pie parauga, ir nepieciešams vismaz 1 cm, jo vēlamies skatīties mikroskopā rezonatora izgatavošanas laikā un caur vakumkameron lodziņu.

Secinājums, ka nepieciešams kalibrācijas objekts ar 10...1 mikrona struktūrām.

ERAF projekts Nr.1.1.1.1/16/A/259

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

Pirmo trīs mēnešu atskaite.

3. Teorija un modelēšana.

30.05.2017., LU ASI, A.Atvars

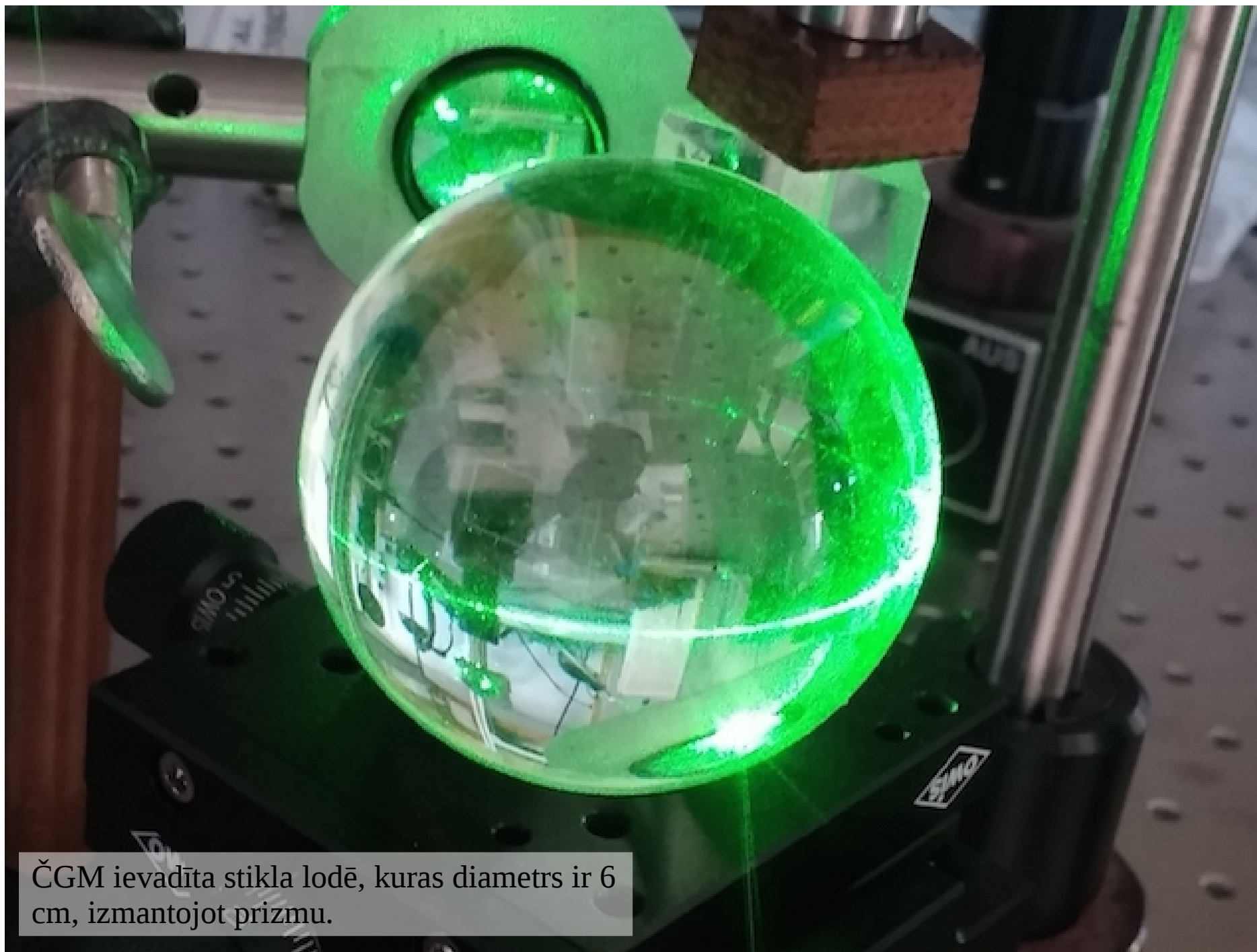
NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



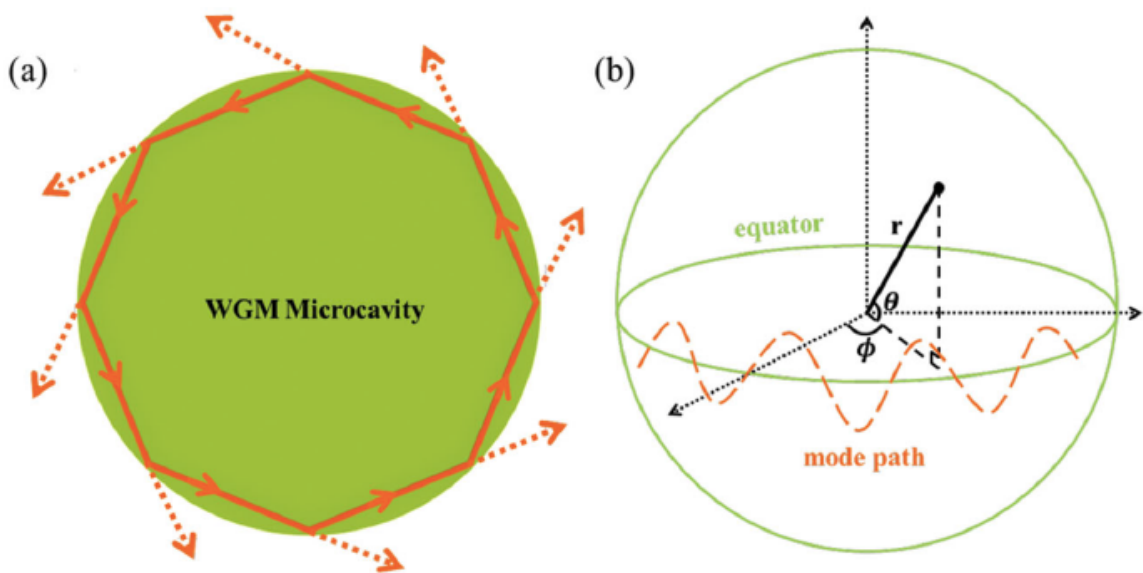
**EIROPAS SAVIENĪBA**  
Eiropas Reģionālās  
attīstības fonds

---

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



ČGM ievadīta stikla lodē, kuras diametrs ir 6 cm, izmantojot prizmu.



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

$$2\pi r n = (\lambda + \Delta\lambda)(N + 1)$$

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

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

$$\lambda_{TE} \approx \frac{2\pi R n_1}{m + 1.856m^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{1}{2} - \frac{n_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}}\right)}$$

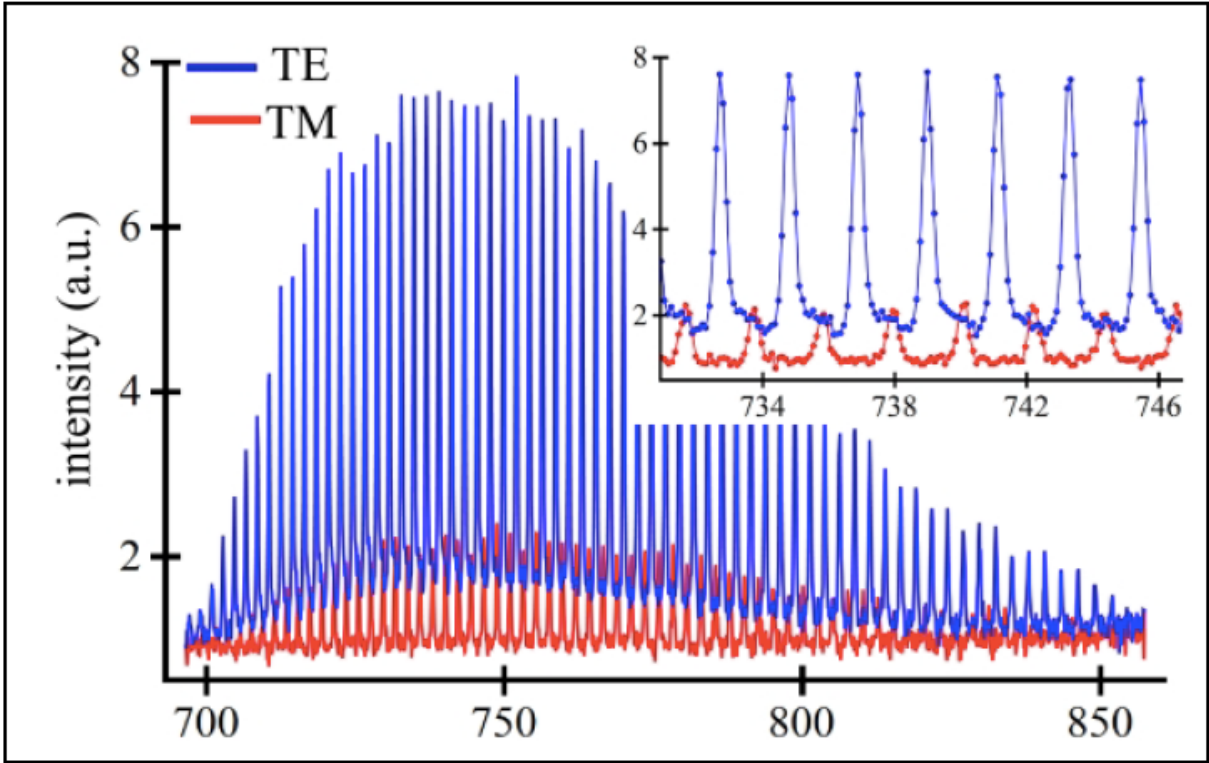
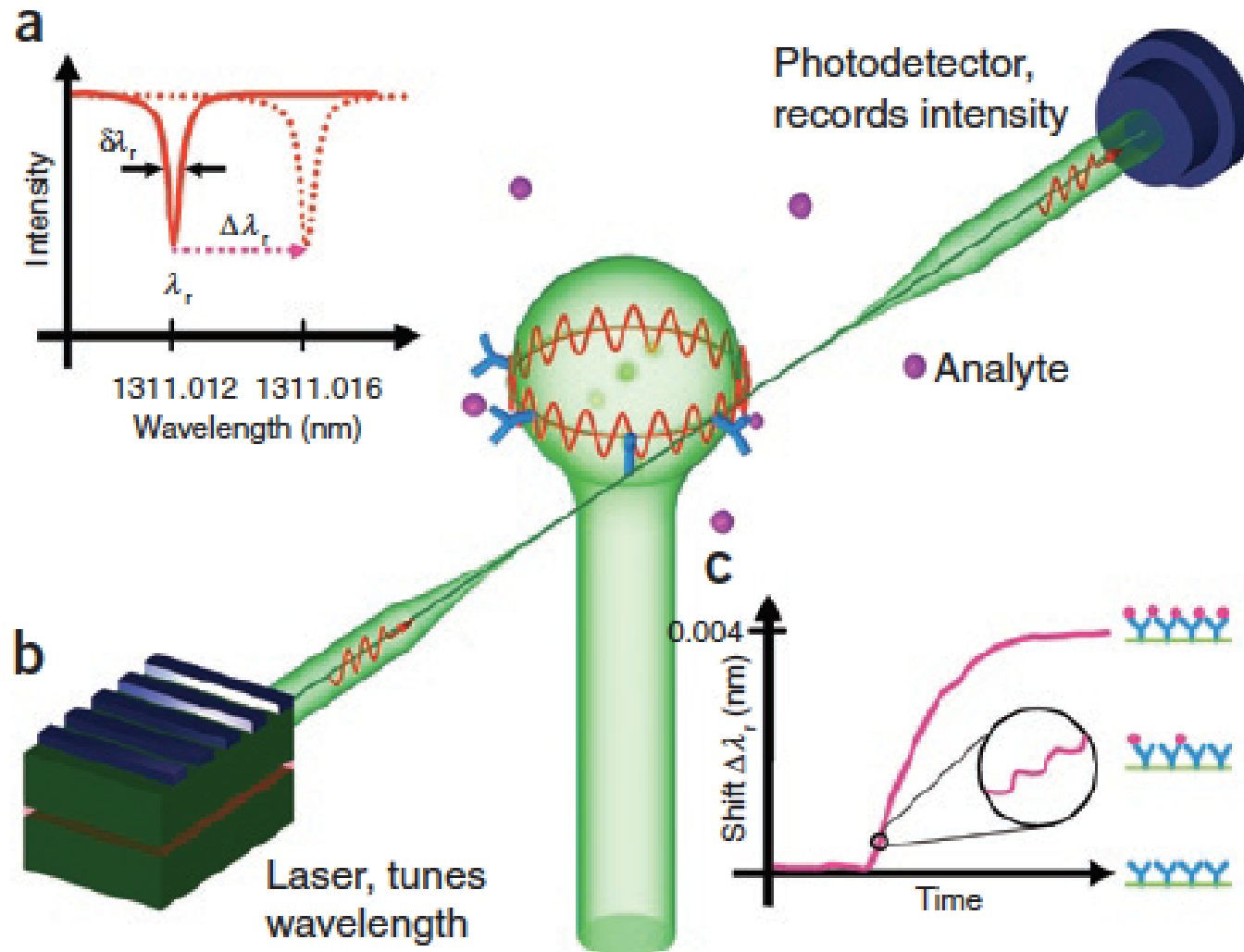
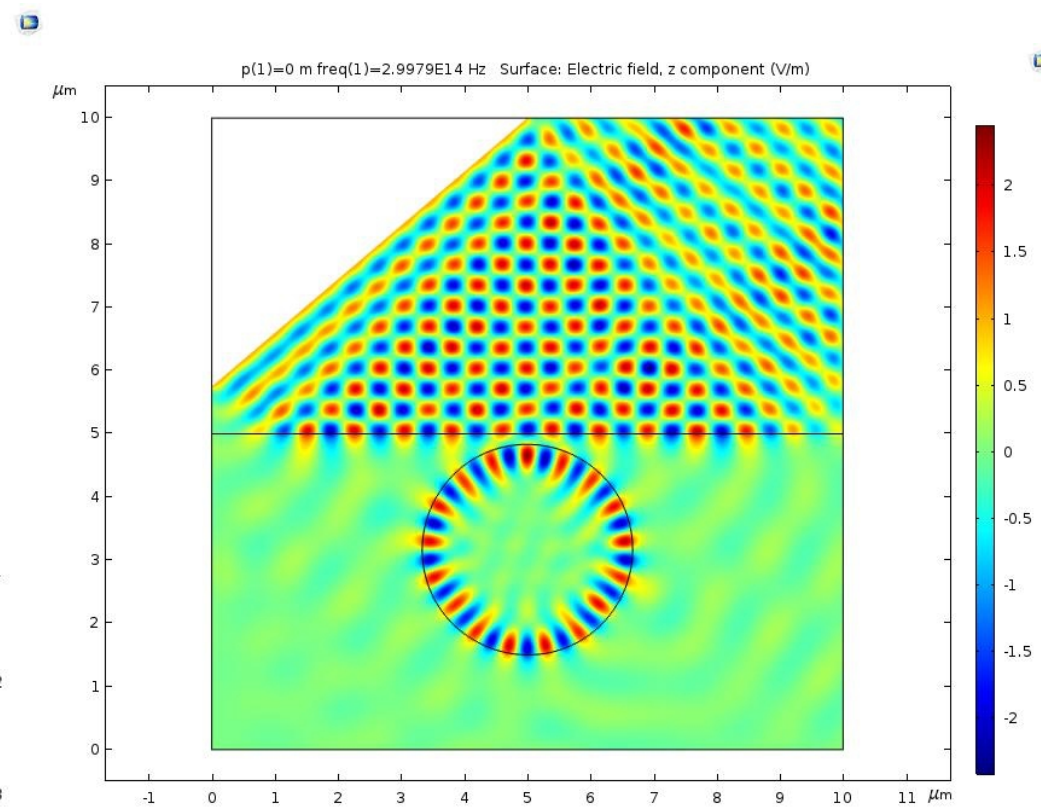
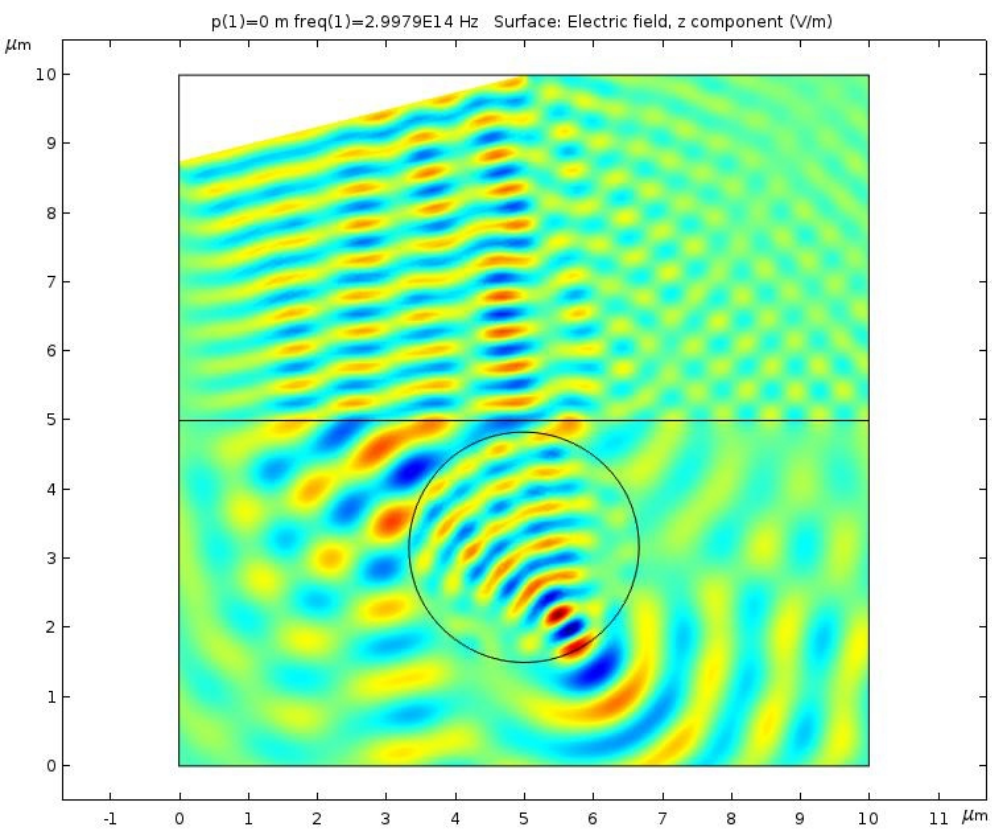


Figure 1.2: Spectra of Whisperring gallery mode sphere <https://sites.ualberta.ca/~ameldrum/science/science4a.html>

# Čukstošās galerijas modu mikrorezonators

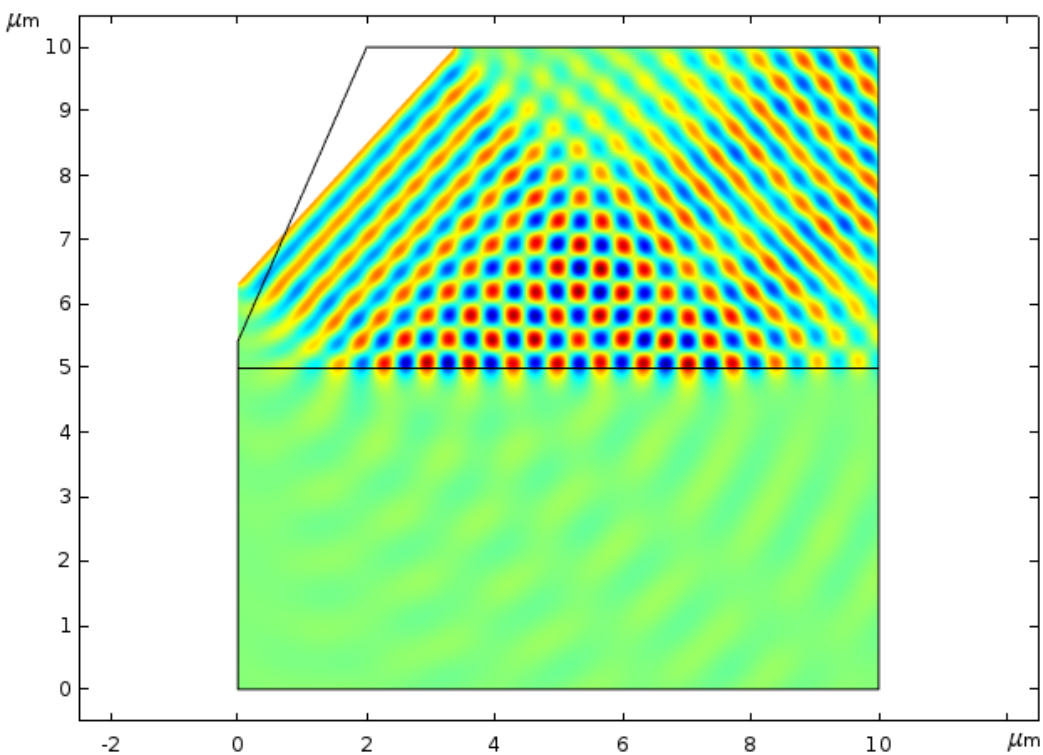




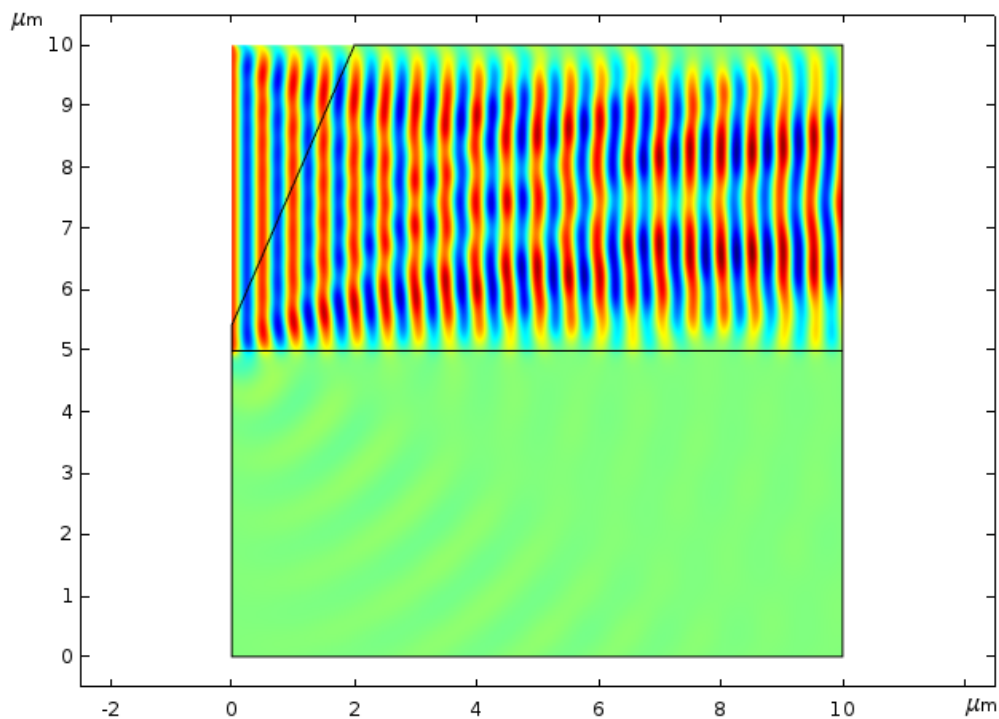


Gaismas ievadīšana mikrorezonatorā ar prizmu. Attēli iegūti ar COMSOL Multiphysics programmu.

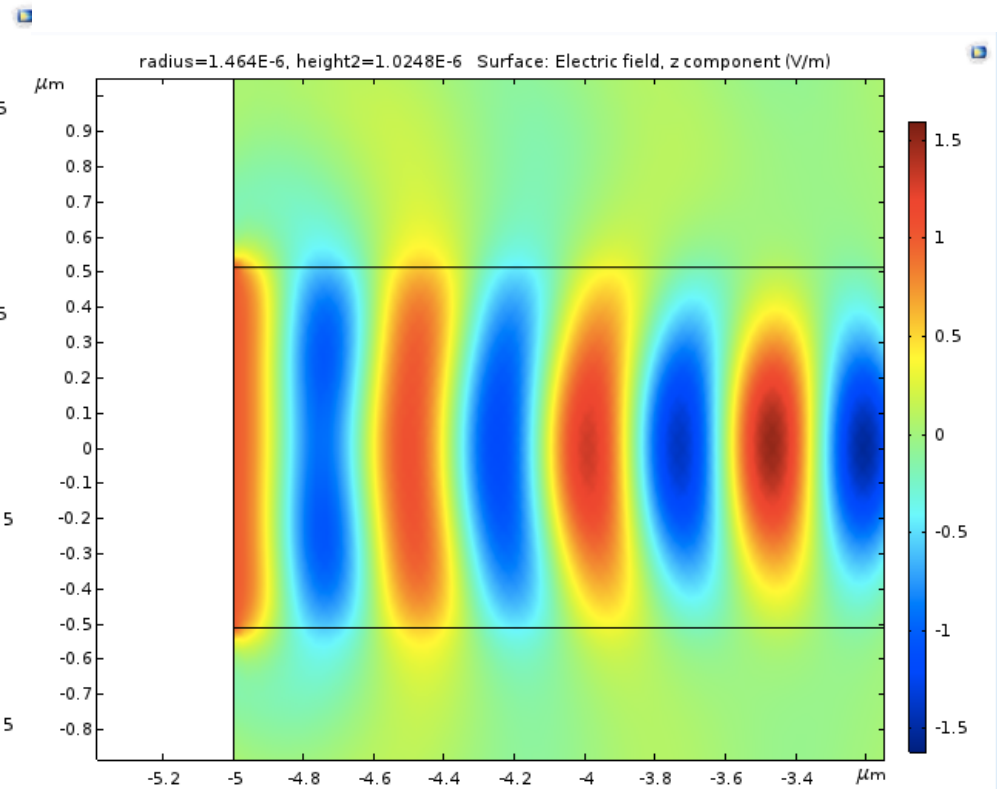
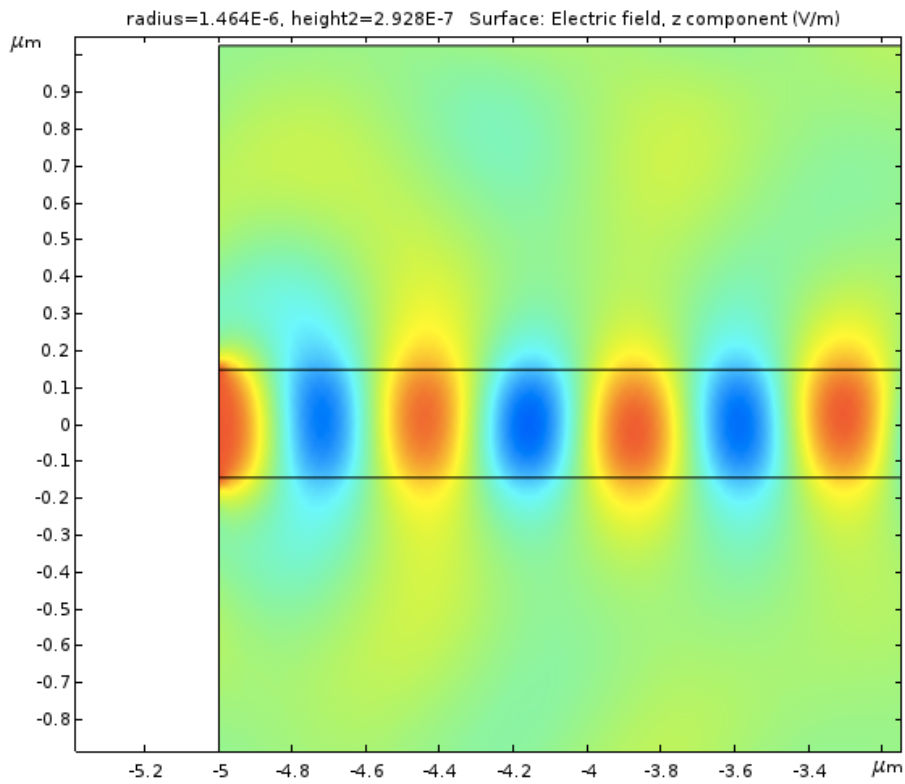
theta(15)=1.1574 freq(1)=2.9979E14 Hz Surface: Electric field, z component (V/m)



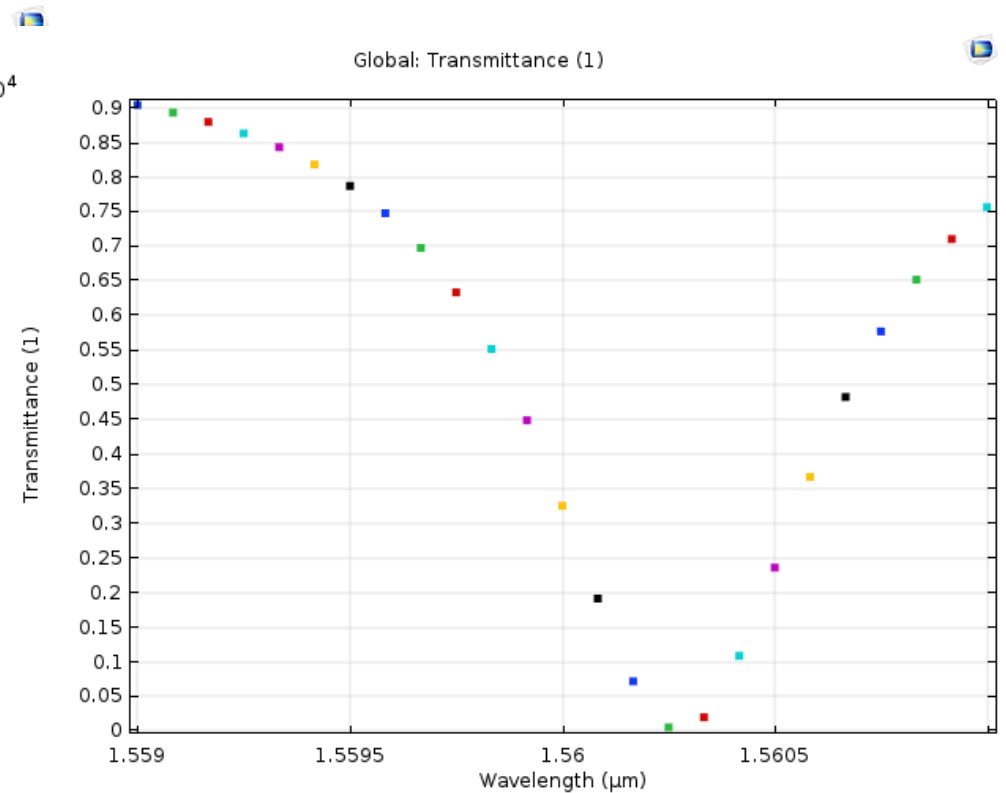
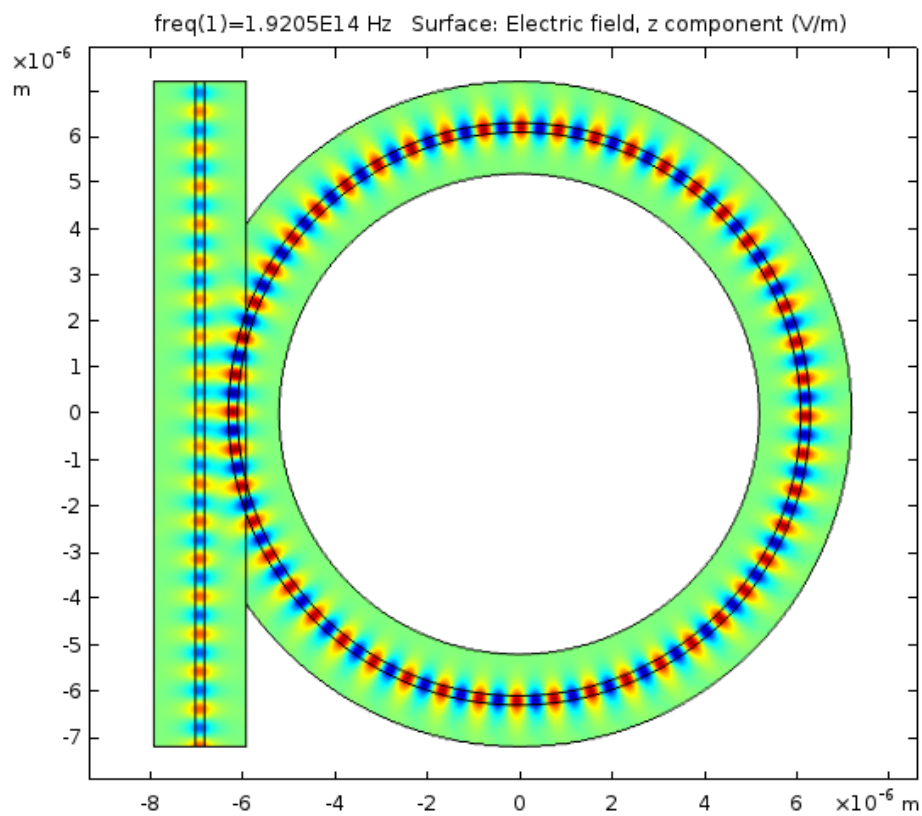
theta(15)=1.1574 freq(1)=2.9979E14 Hz Surface: Electric field, z component (V/m)



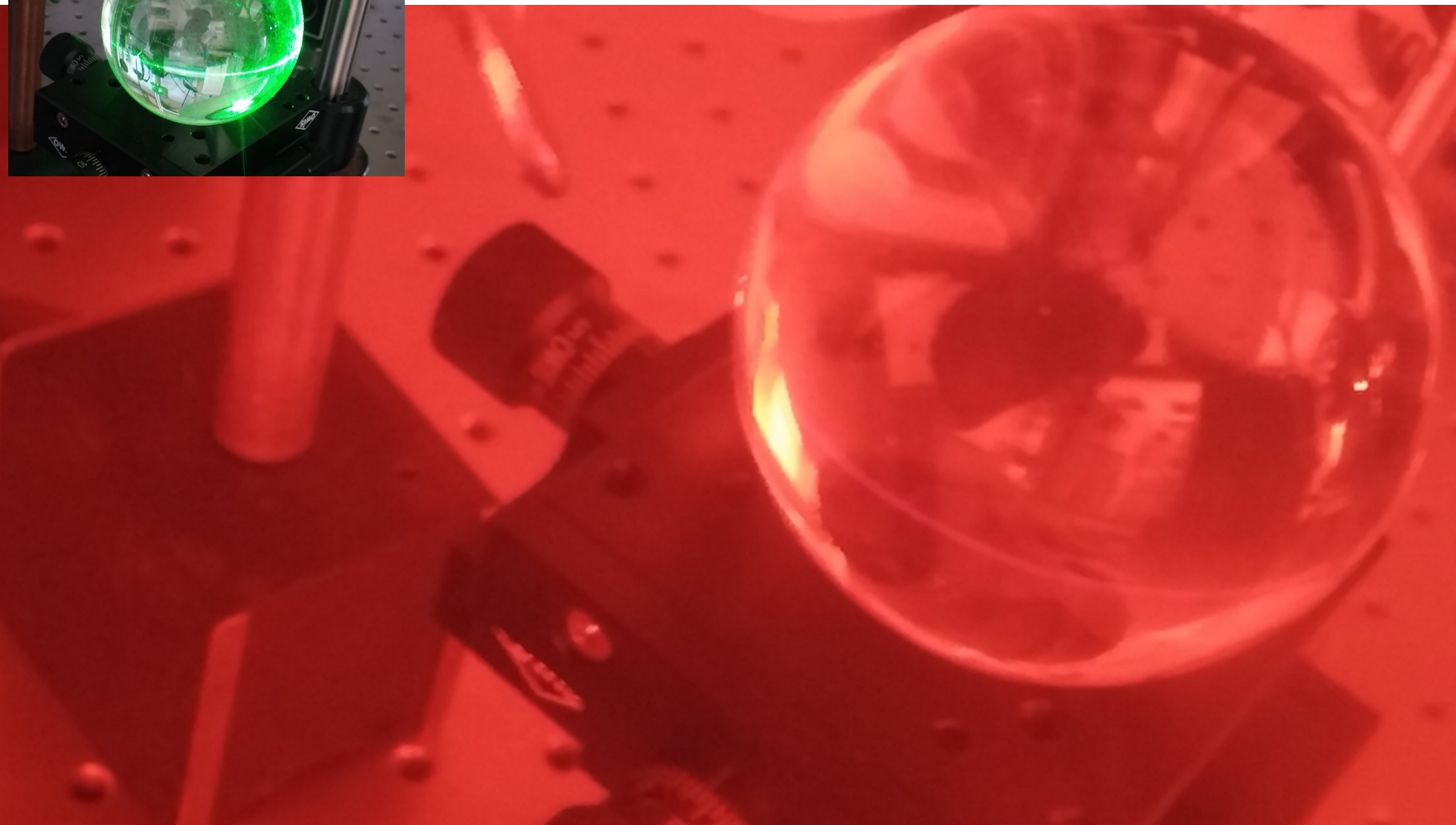
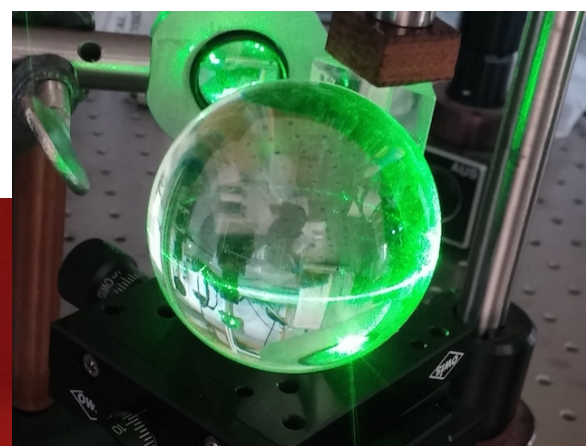
Gaismas izplatīšanās. Attēli iegūti ar COMSOL Multiphysics programmu.



Gaismas izplatīšanās optiskajā šķiedrā ar dažādiem šķiedras diametriem. Attēli iegūti ar COMSOL Multiphysics programmu.



Rezonances nosacījums. Attēli iegūti ar COMSOL Multiphysics programmu.



# Development of novel WGM microresonators for optical frequency standards and biosensors, and their characterization with a femtosecond optical frequency comb

## 3. Development of biosensors

Roman Viter

Senior researcher

Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, University of Latvia,  
Riga, Latvia

[roman.viter@lu.lv](mailto:roman.viter@lu.lv)

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

# WP3

- -Literature analysis
- -Development of resonators on optical fibers
- -Development of nanomaterials as optical transducers and their transfer on WGM resonators
- -Functionalization of the biosensor surface
- -Biosensor testing

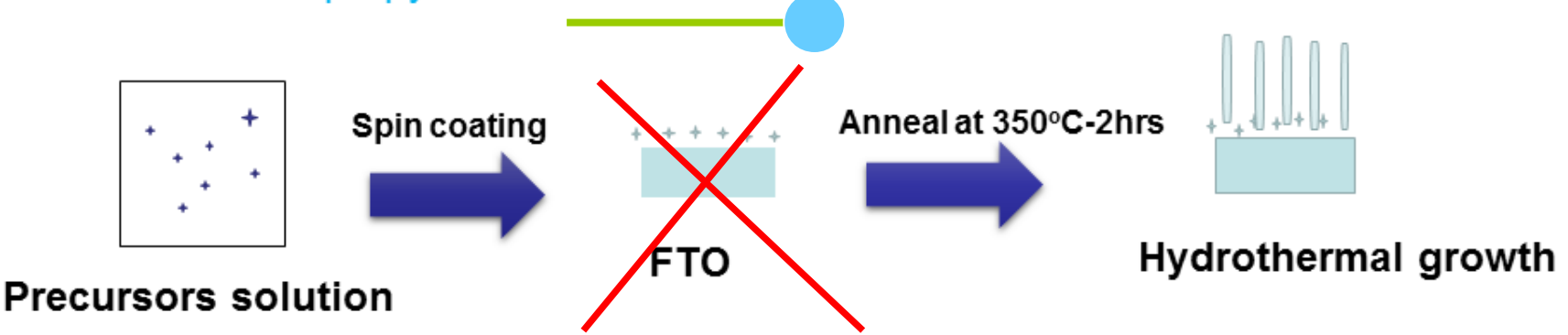
# Chemical growth of ZnO nanorods on WGM resonator, based on optical fiber

## Hydrothermal Synthesis of ZnO

Step 1: Plasma cleaning of FTO glass

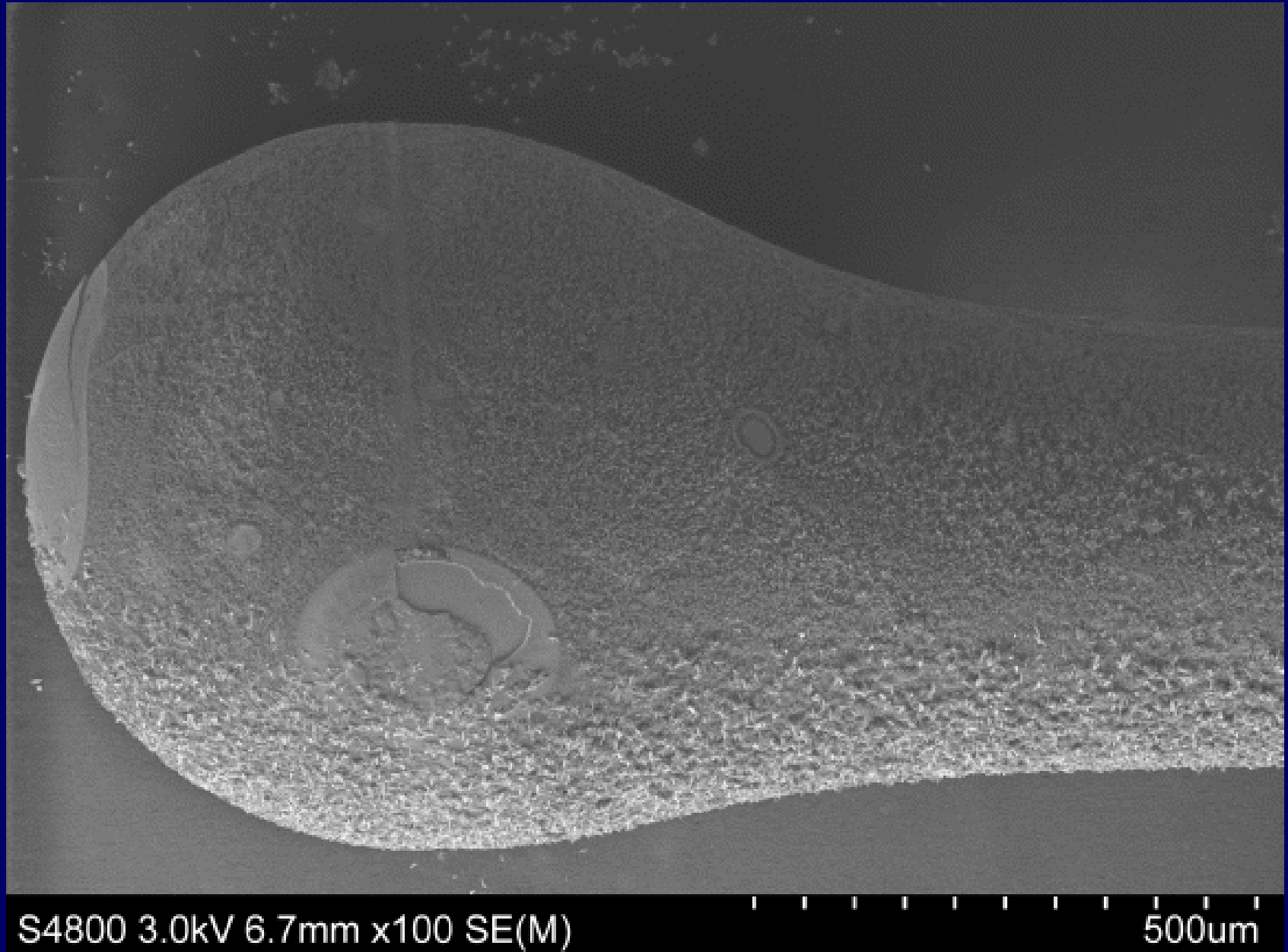
- Deionised water-isopropanol

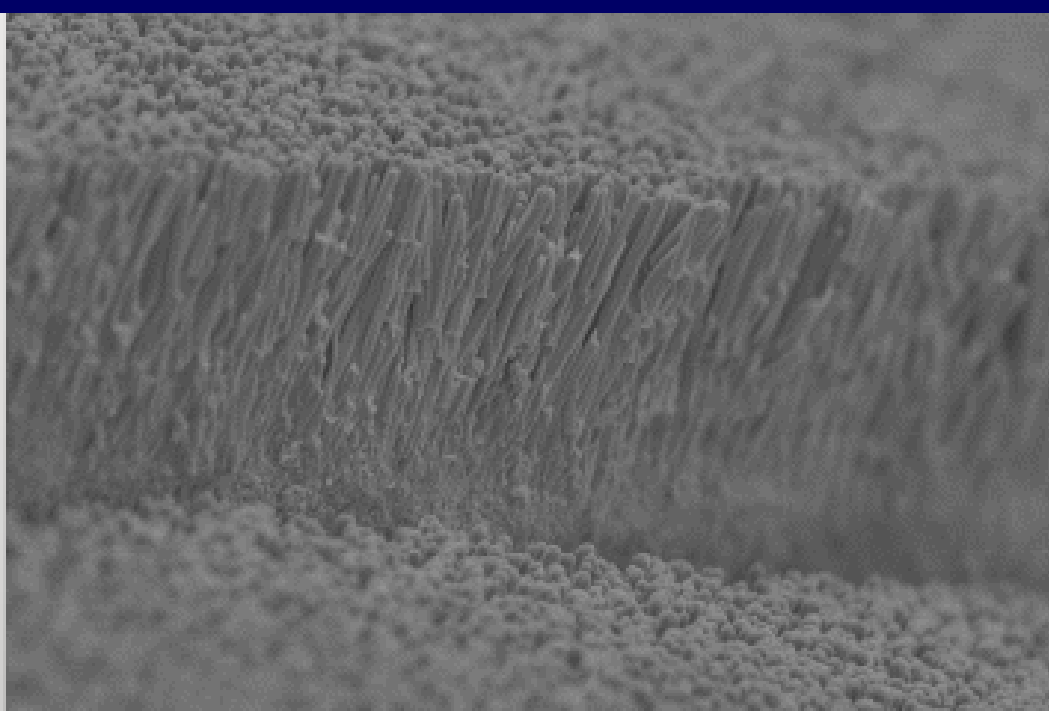
Zinc acetate+Isopropy





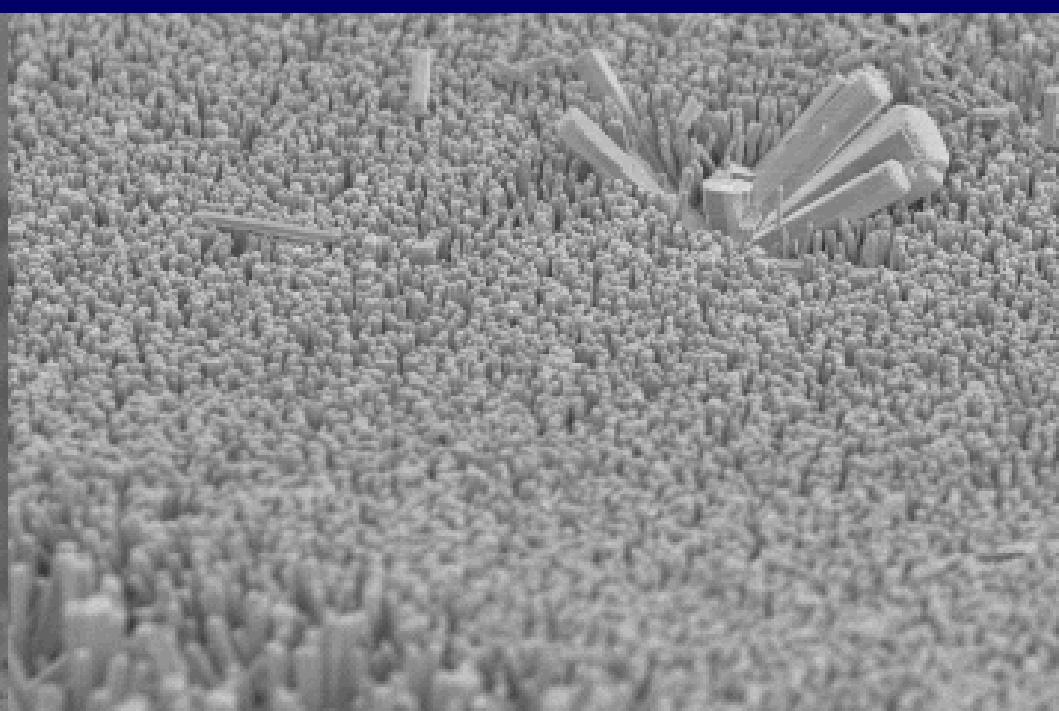
# SEM of ZnO NRs on WGM resonator





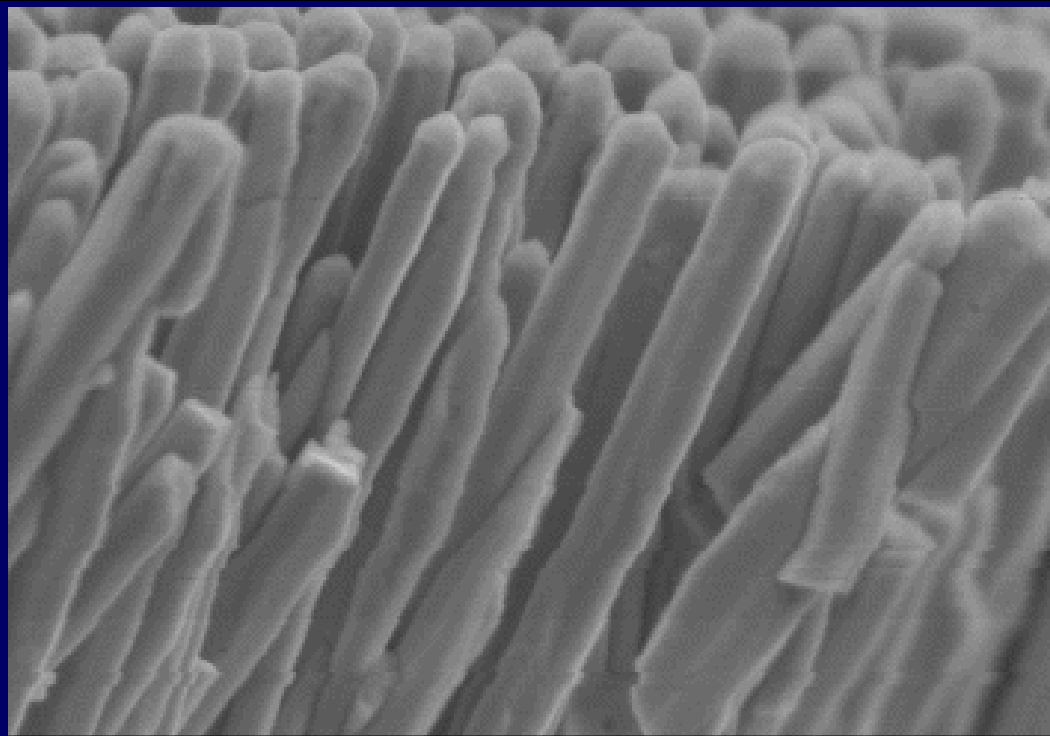
S4800 3.0kV 8.3mm x10.0k SE(M)

5.00um



S4800 3.0kV 8.1mm x5.00k SE(M)

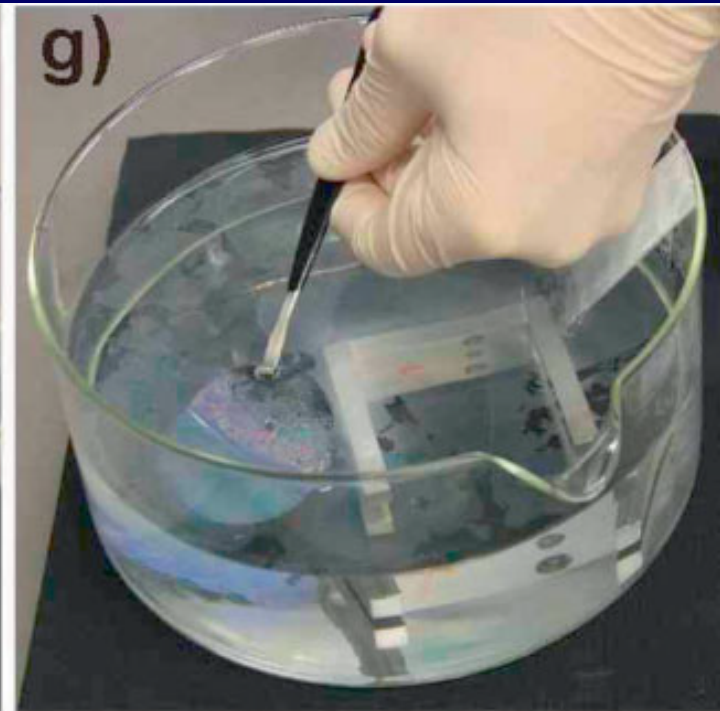
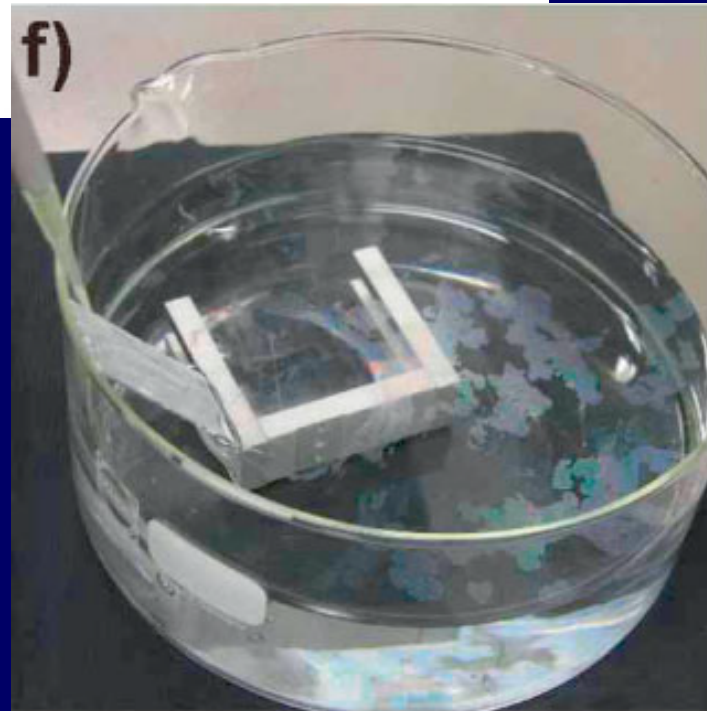
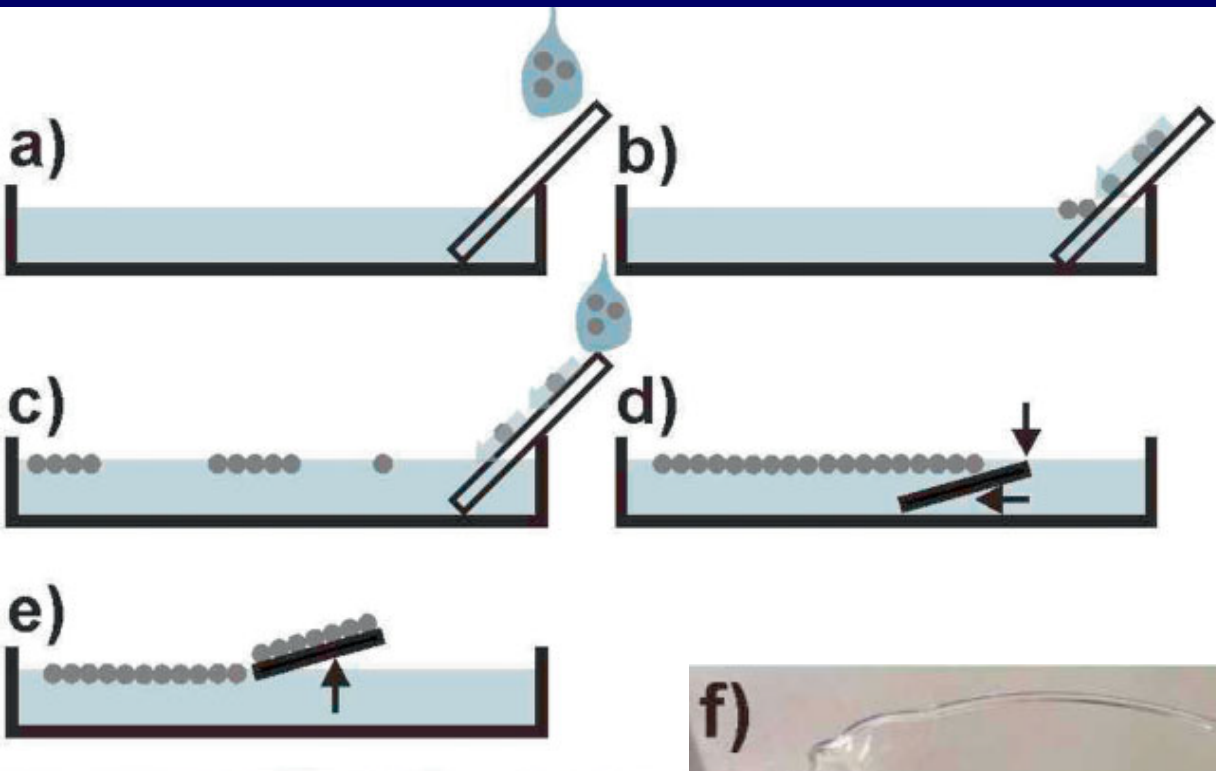
10.0um

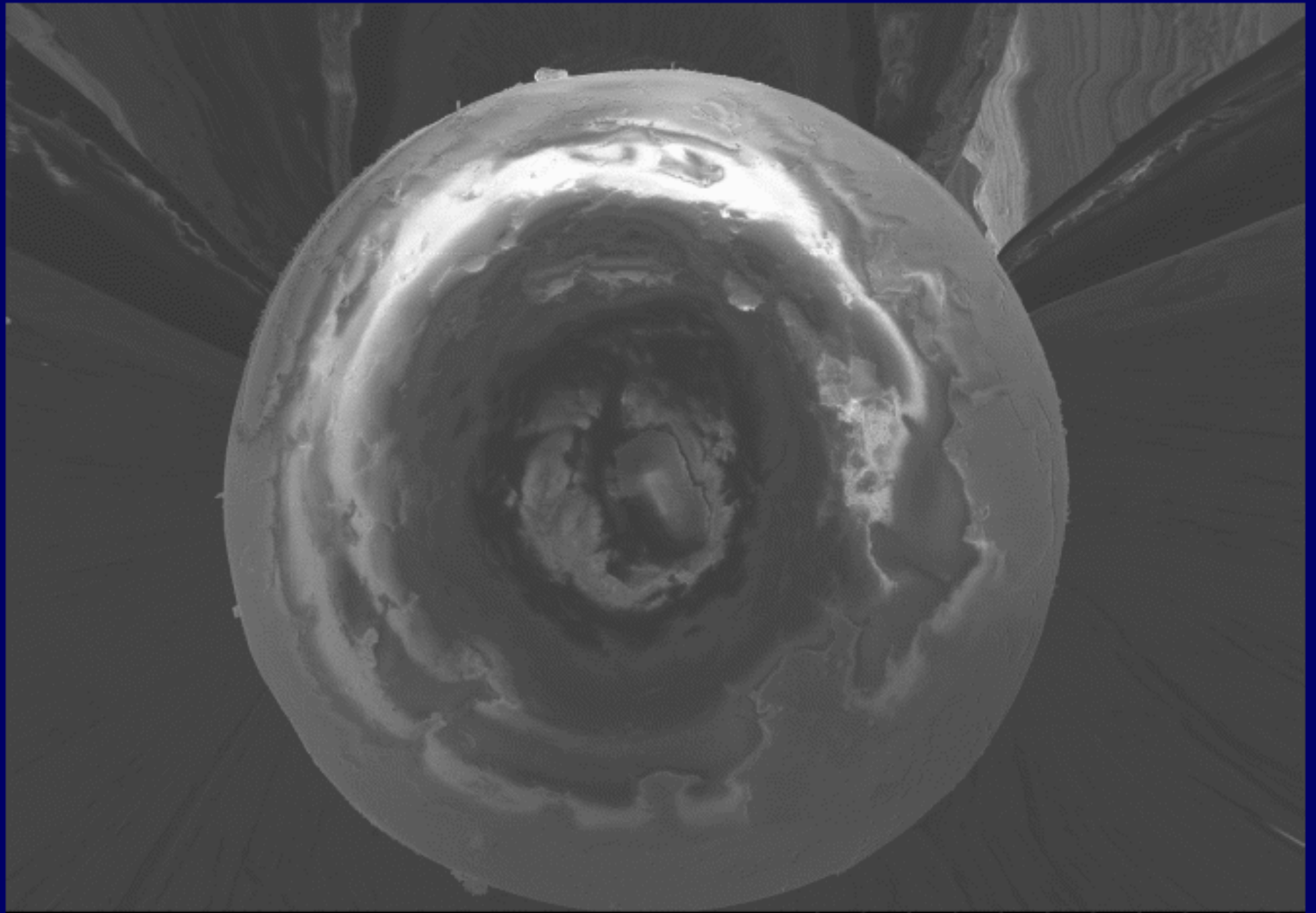


S4800 3.0kV 8.3mm x50.0k SE(M)

1.00um

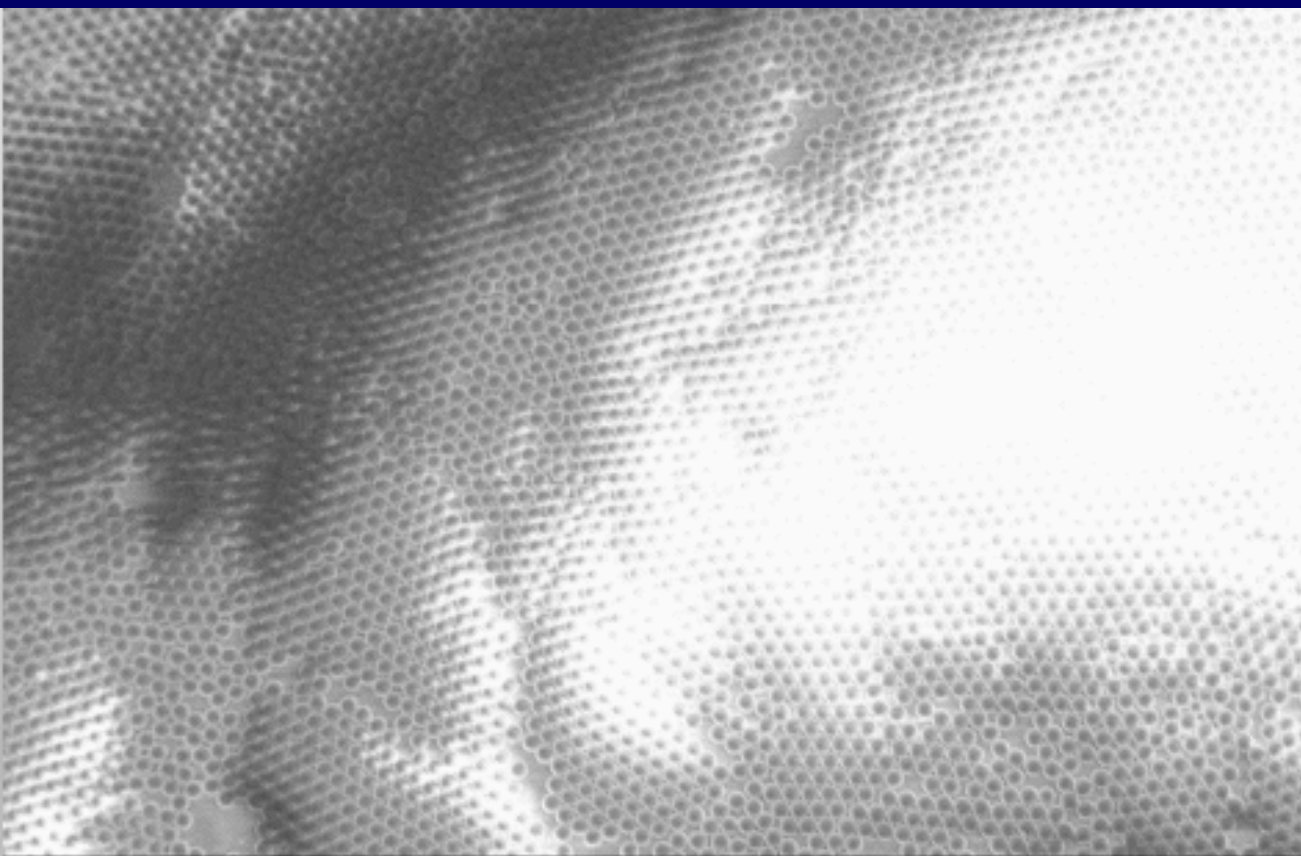
# Nanospheres lithography



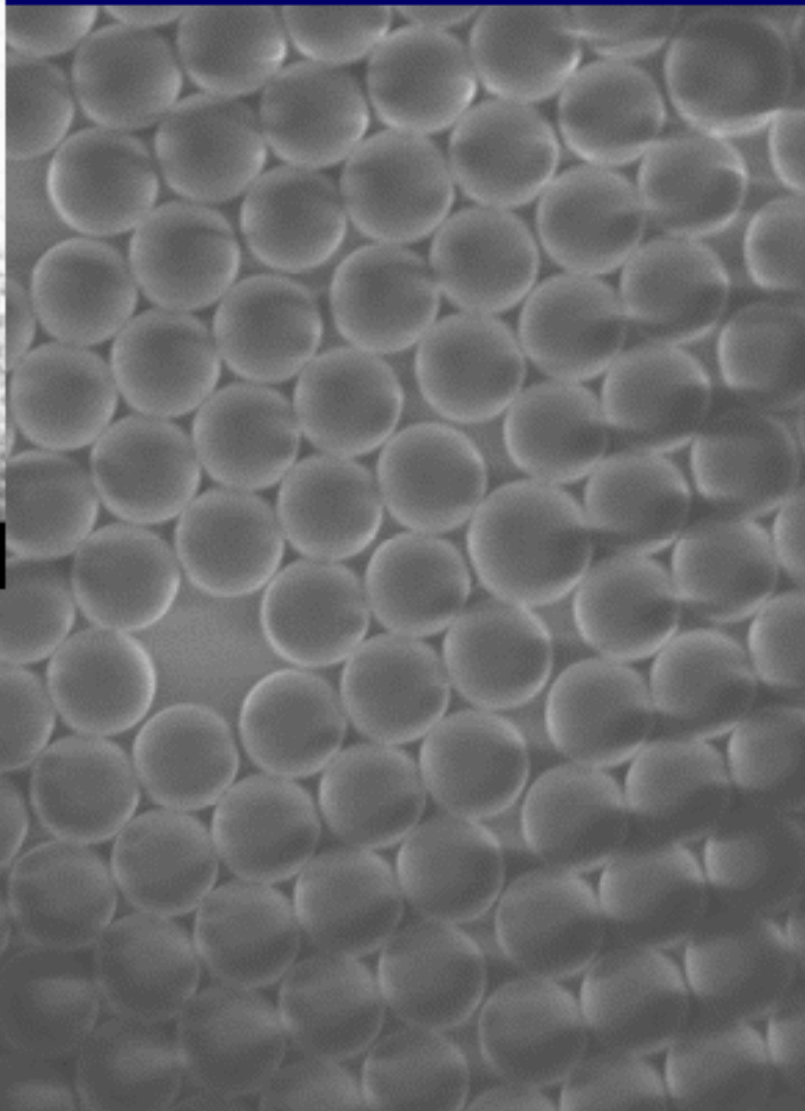


S4800 5.0kV 7.4mm x150 SE(M)

300um



S4800 5.0kV 6.9mm x2.00k SE(M) 20.0um



S4800 5.0kV 4.2mm x10.0k SE(M) 5.00um

# Next steps

- Deposition of thin metal oxide films over PS microspheres
- Deposition of metal oxide nanolaminates over WGM resonators
- Coating of thin layers on internal surfaces of quartz capillaries
- Fabrication of microresonators using lithography
- Structure and optical characterization
- Preparation of paper draft on new coatings for WGM biosensors