

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

Sestā ceturkšņa atskaite
01.06. - 31.08. 2018.

31.08.2018.

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 projektā 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.

Izmaiņas projekta personālā

- **Haralds Baumanis** pēc bakalaura iegūšanas uzsāka studijas ārzemēs.
- **Andra Pirktiņa** pēc bakalaura iegūšanas uzsāka studijas ārzemēs.
- *B. Phys.* **Daina Damberga** pieņemta projektā. ZnO pārklājumi
- *Dr. Phys.* **Uldis Bērziņš** pieņemts projektā. Organisko materiālu mikrosfēru ČGMR.

Darbinieki

- Vadošie pētnieki
 - J. Alnis
 - A. Atvars
 - R. Viter
- Zinātniskie asistenti
 - I. Brice
- Laboranti
 - K. Grundšteins
 - ~~A. Pirktiņa~~ D. Damberga
 - ~~A. A. Ūbele~~ H. Baumanis
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.
 - AM1 (06.03.2017) - 81 215.00 EUR
 - Līdz 31.08.2017 deklarētās izmaksas 80 076.30 EUR
 - AM2 (06.06.2017) - 71 266.25 EUR
 - Līdz 13.12.2017 deklarētas izmaksas 68 244.41 EUR
 - AM3 (15.11.2017) - 32 270.74 EUR
 - **Nebija nepieciešams pagarinājums**
 - Līdzfinansējums no Y5-227840-015 (22.01.2018.) - 3 606.00 EUR

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
 - Tiešās izmaksas deklarēšanai no konta izraksta
~56 209.52 EUR + ieguldījums natūrā 5 563.23
EUR

ZnO Modelēšana

ERAF sapulce

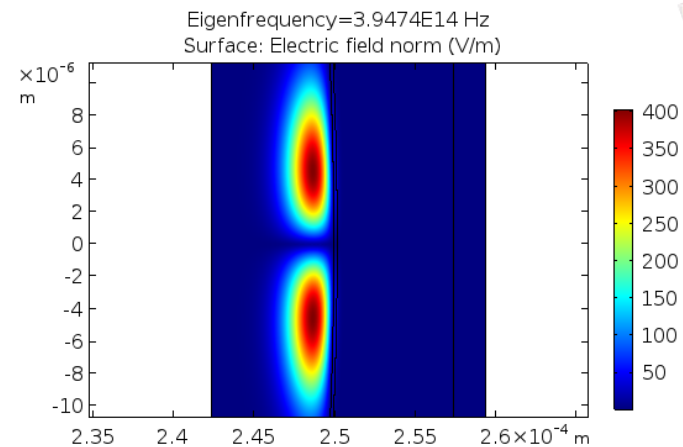
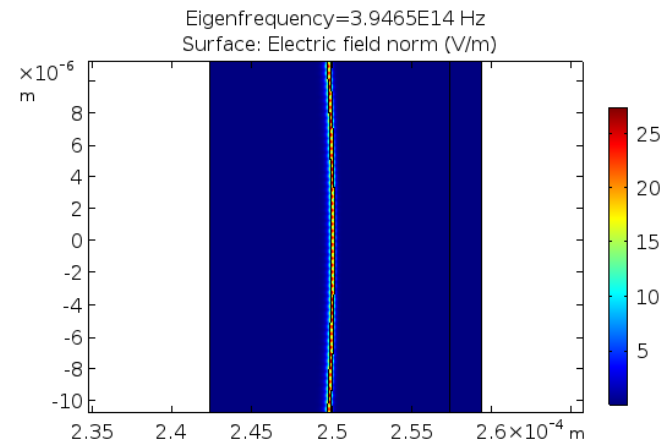
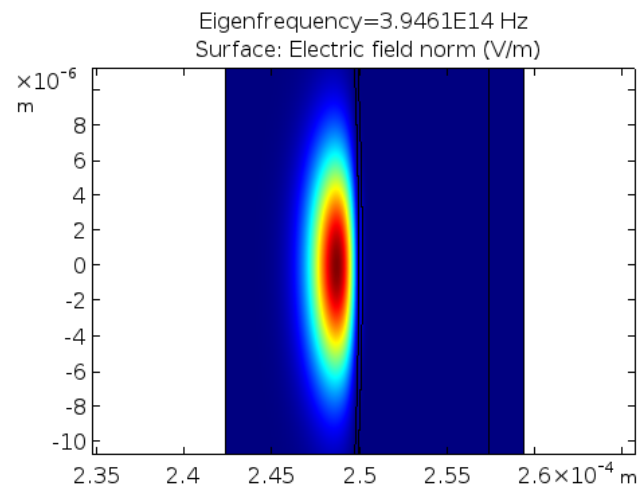
01.06.2018.-31.08.2018.

Aigars Atvars, Haralds Baumanis

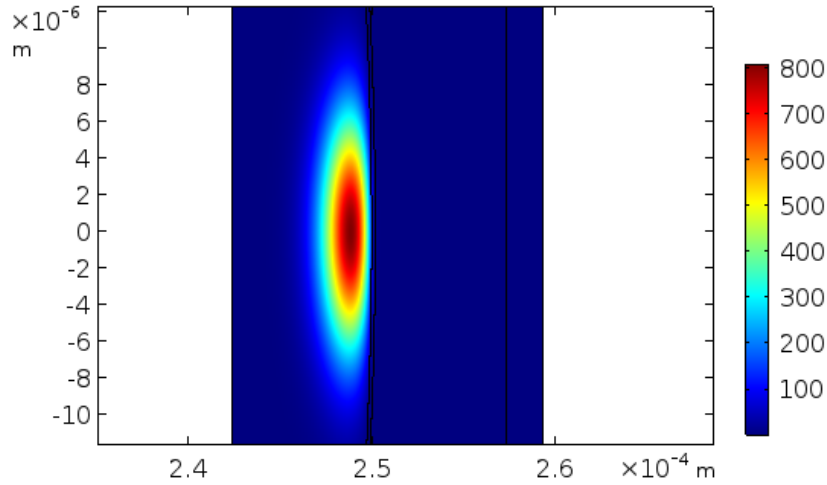
Rezonatoru modelēšana, kad tas pārklāts ar ZnO slāni

1) Q faktora meklēšana, ja rezonators ir aksiālsimterisks

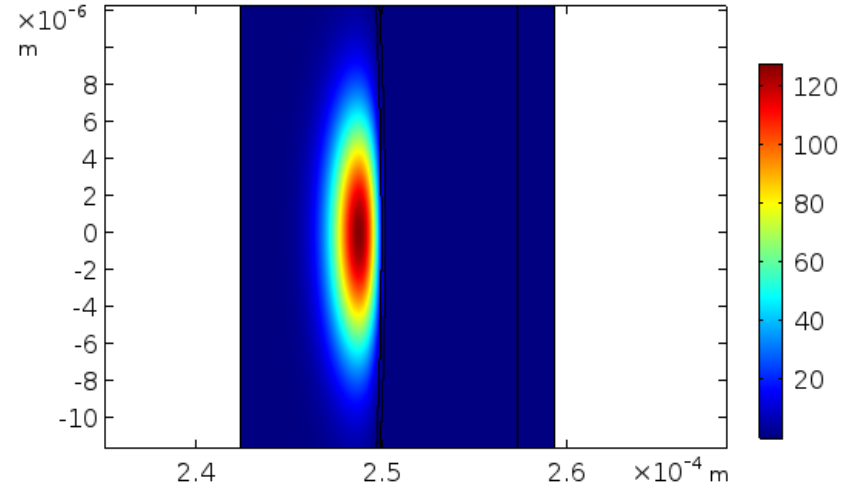
Rezonators $D= 500 \text{ } \mu\text{m}$
ZnO slānis $d= 200 \text{ nm}$



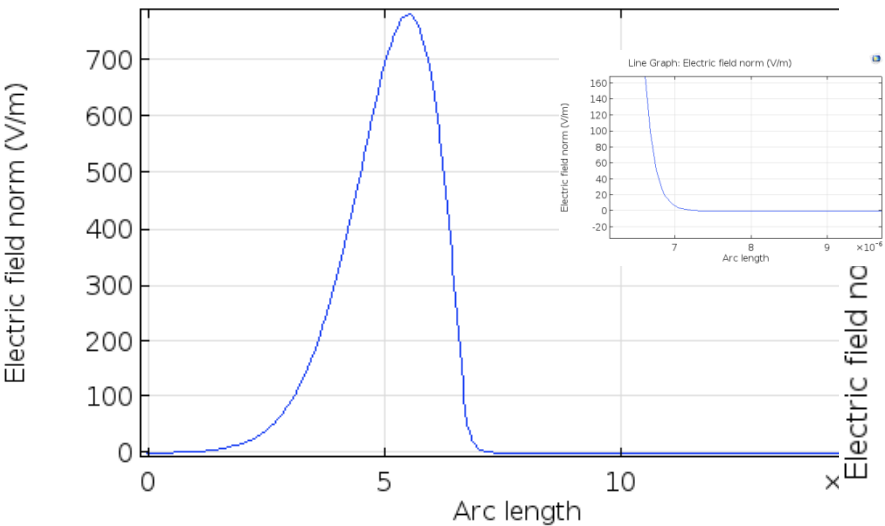
Eigenfrequency=3.9443E14 Hz
Surface: Electric field norm (V/m)



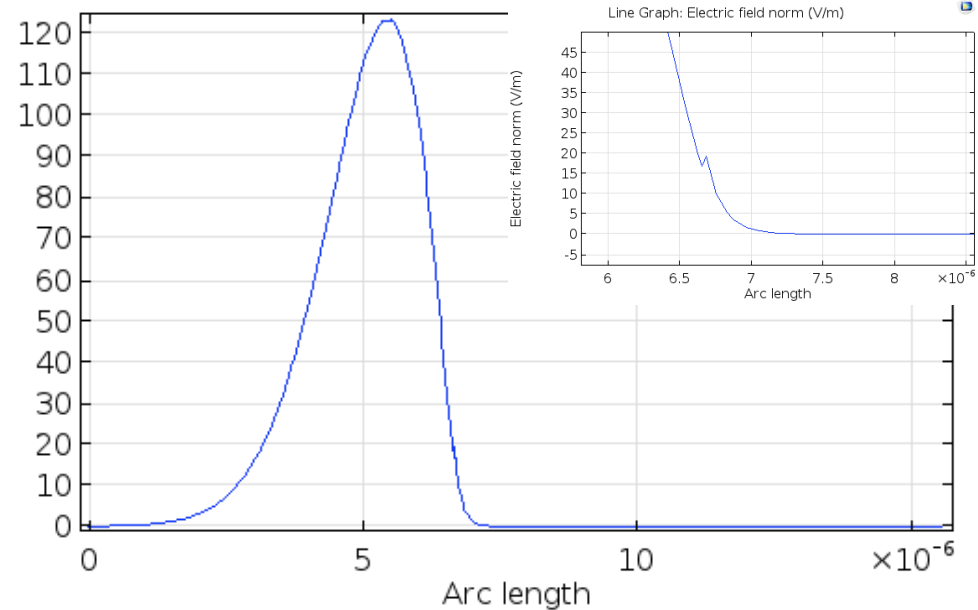
Eigenfrequency=3.9452E14 Hz
Surface: Electric field norm (V/m)



Line Graph: Electric field norm (V/m)

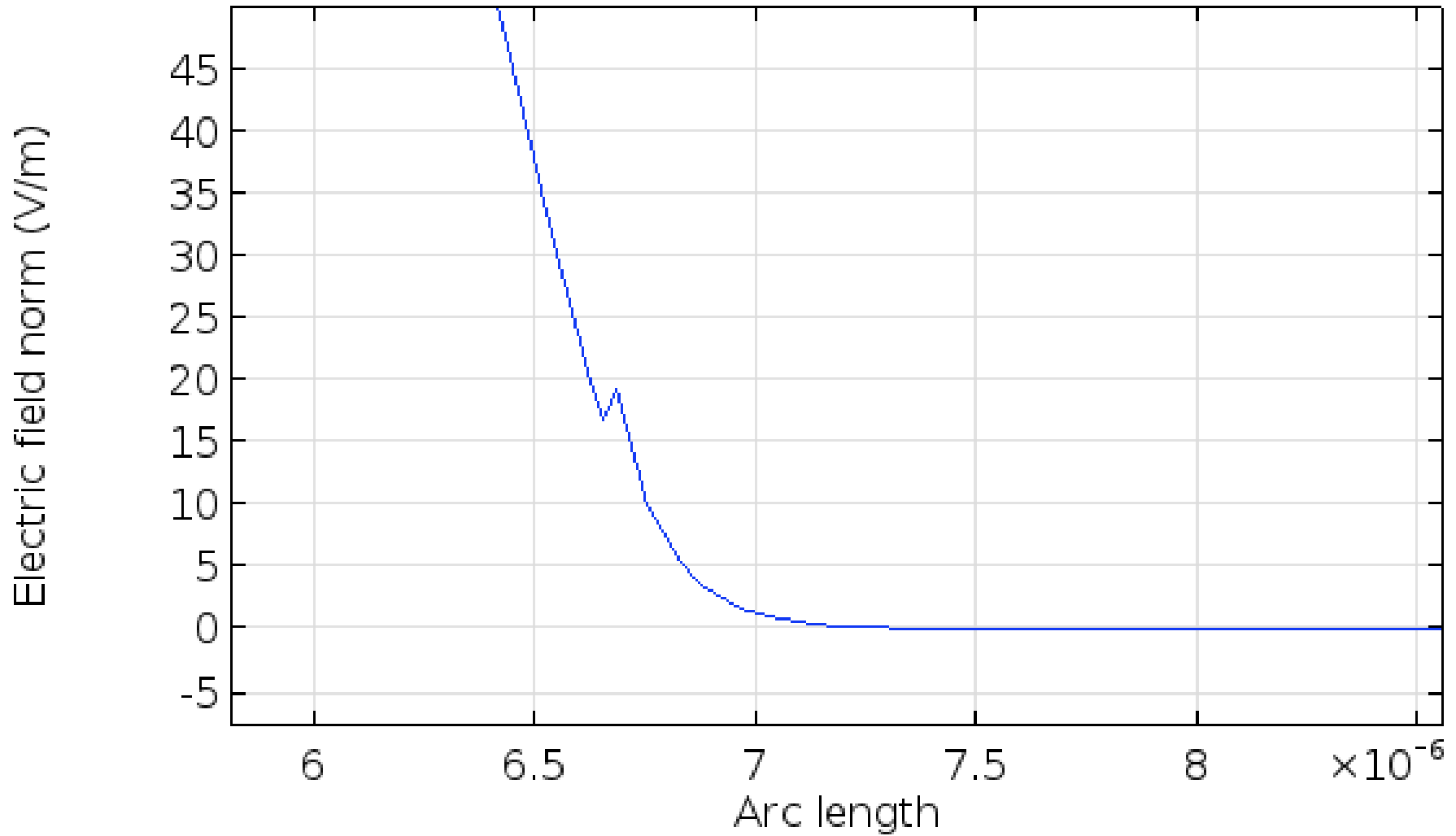


Line Graph: Electric field norm (V/m)

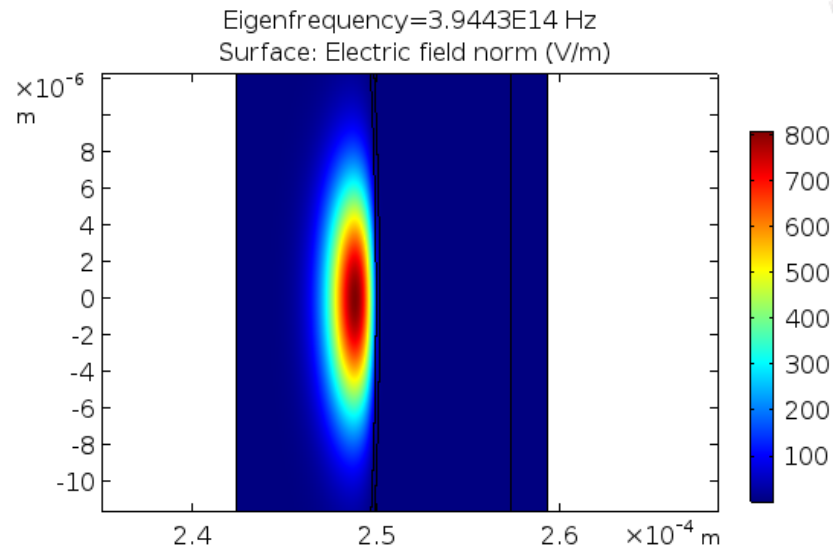


Nav ZnO slānis! $Q=7.2730 \times 10^6$

Line Graph: Electric field norm (V/m)

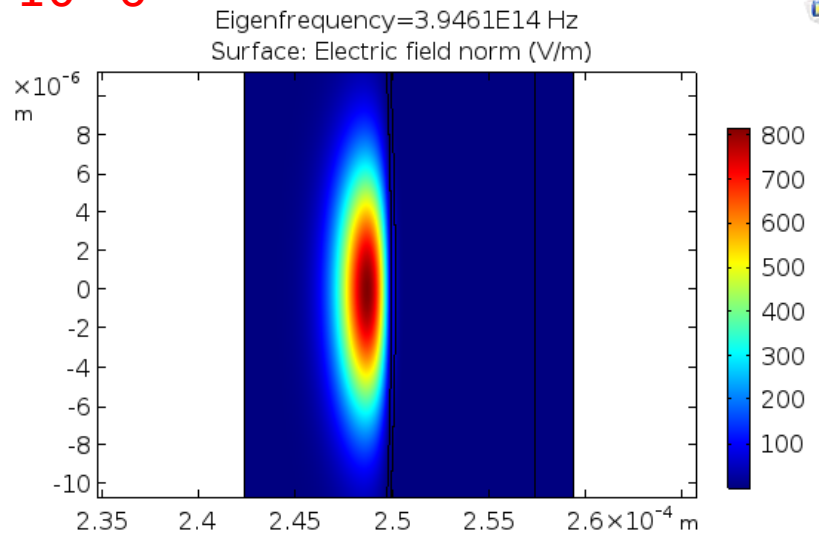


Nav ZnO slānis!



$$Q=7.2867 \cdot 10^6$$

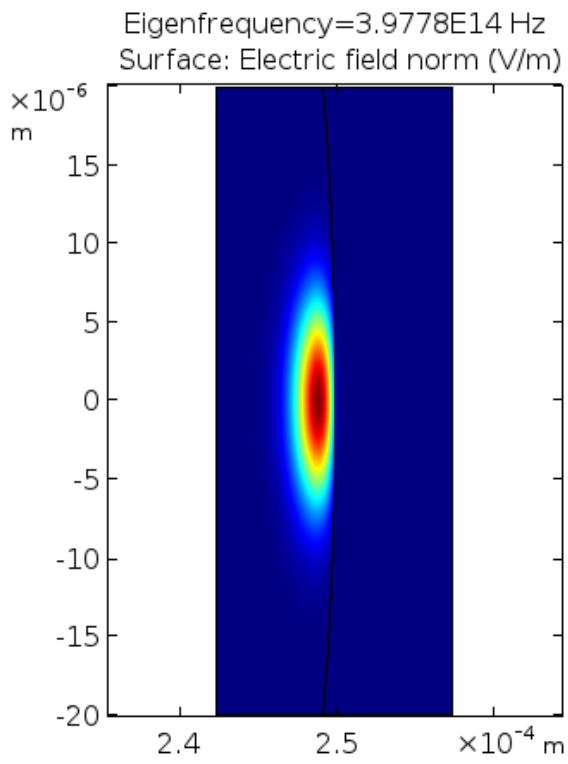
Ir ZnO slānis! $Q=7.2730 \cdot 10^6$



$D=500 \mu\text{m}$, $n_{\text{resonator}}=1.5$, $k_{\text{resonator}}=10^{(-7)}$, $n_{\text{air}}=1$

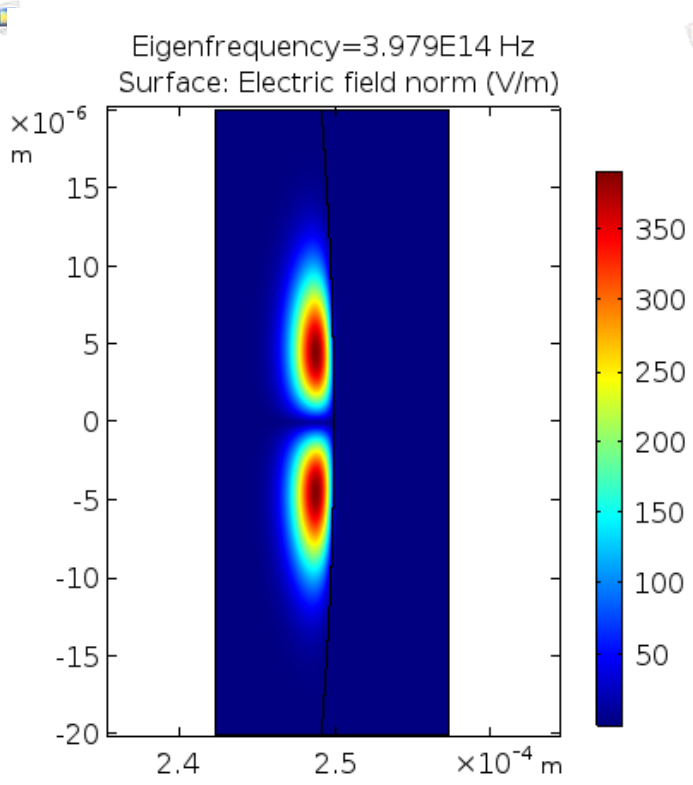
$\Lambda=760 \text{ nm}$; $n_i=3.9446 \cdot 10^{(14)}$ ($1/s^2 \cdot \pi \cdot r \cdot n = \Lambda \cdot N1$)

$N1=3100.3$ Round($N1$)= 3100



$Q=7.5 \cdot 10^6$

Ja $k=0$; $Q \sim 10^{18}$



$Q=7.5 \cdot 10^6$

Ja $k=0$; $Q \sim 10^{18}$

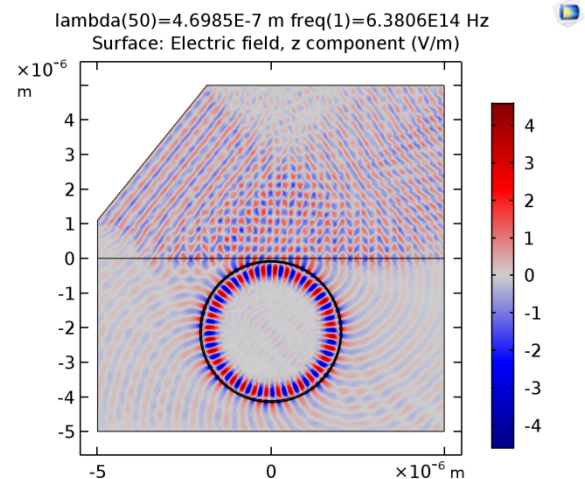
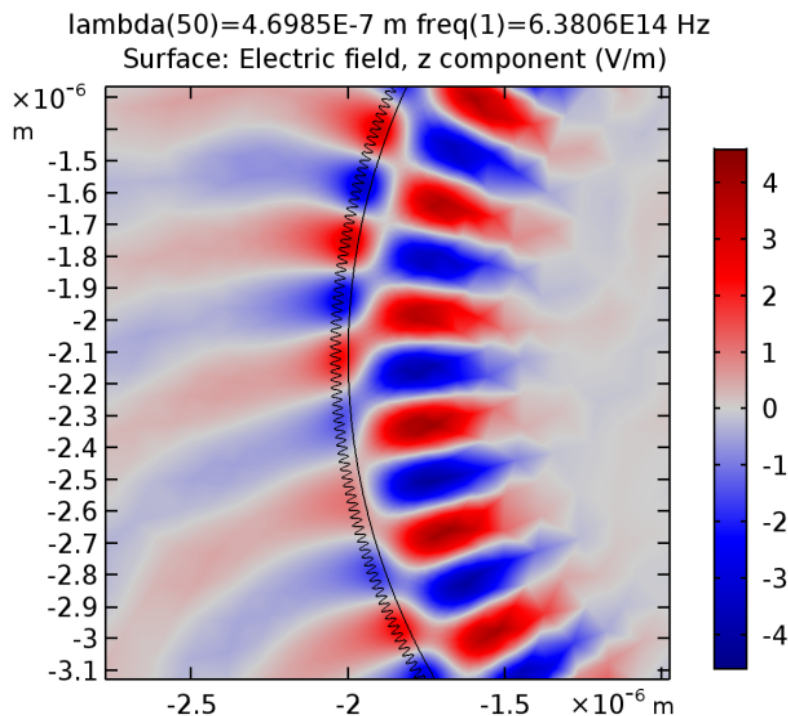
Mesh size (reson)=
 $\Lambda/n/10$

Eigenfrequency (Hz)	Quality factor (1)
$3.9778 \cdot 10^{14}$	$7.5026 \cdot 10^6$
$3.9787 \cdot 10^{14}$	$7.5041 \cdot 10^6$
$3.9790 \cdot 10^{14}$	$7.5026 \cdot 10^6$
$3.9800 \cdot 10^{14}$	$7.5041 \cdot 10^6$
$3.9803 \cdot 10^{14}$	$7.5026 \cdot 10^6$

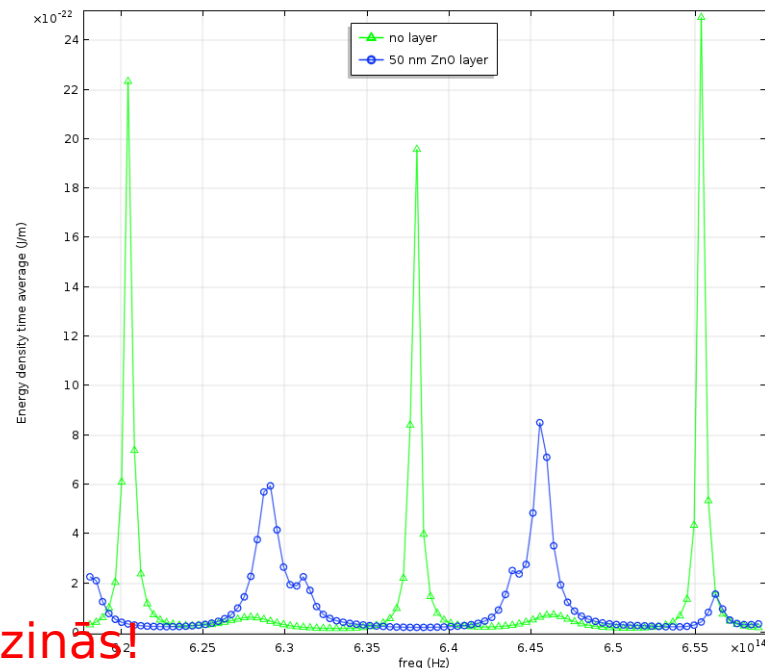
Mesh size (reson)=
 $\Lambda/n/3$

Eigenfrequency (Hz)	Quality factor (1)
$3.9778 \cdot 10^{14}$	$7.5026 \cdot 10^6$
$3.9787 \cdot 10^{14}$	$7.5041 \cdot 10^6$
$3.9790 \cdot 10^{14}$	$7.5026 \cdot 10^6$
$3.9800 \cdot 10^{14}$	$7.5041 \cdot 10^6$

ZnO slānis ar nelīdzenu virsmu



$n(\text{resonator})=1.5$
 $n(\text{prism})=1.5$
 $n(\text{ZnO})\sim 2.1$ from COMSOL built in material
 $r(\text{resonator, no ZnO})=2 \mu\text{m}$
 $d(\text{ZnO layer})=25\div 50 \text{ nm}$



virsmā kļūst nelīdzena, tad Q faktors samazinās!

ĶGMR

Interferometriski temperatūras sensori

Mikrosfēru vidējais diametrs 85 mikroni.

Uldis Bērziņš - eksperiments un Daina Damberga - video apstrāde ar MATLAB

Novērotais mainot temperatūru: [https://
www.youtube.com/watch?v=C_zfynlnBQQ](https://www.youtube.com/watch?v=C_zfynlnBQQ)

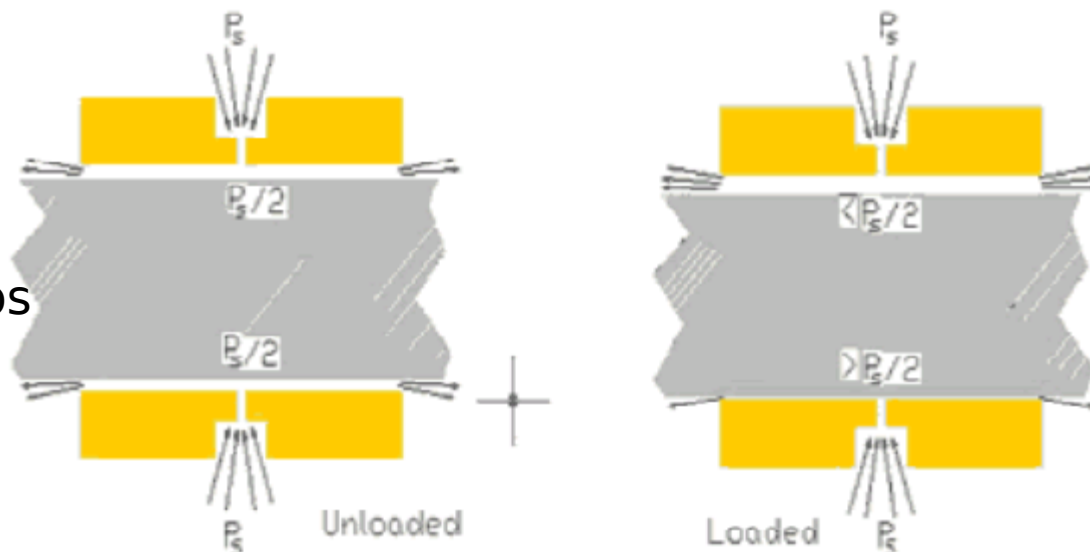
**Izgatavota zemspiediena radiofrekvences
bezelektrodu plazmas kamera rezonatoru virsmas
tīrīšanai (silanizācija), lai pārklājums labāk turētos.**



legādāts mazas vibrācijas darbapalda motors ar saspiesta gaisa gultni ČGM mikrorezonatoru virpošanai

Vibrāciju amplitūda tikai 50 nm. Nopirkts 2018.06.

Nepieciešami vēl filtri saspiegtā gaisa attīrīšanai no mitruma un mikrodaļiņām.



Darbības princips



9 - 13
July
2018



Jagiellonian University
Kraków / Poland

Postera prezentācija

SiO₂ microsphere whispering gallery mode resonators coated with ZnO

I. Brice¹, A. Atvars¹, K. Grundsteins¹, R. Viter¹, I. Iatsunskyi², J. Alnis^{*1}

1. Institute of Atomic Physics and spectroscopy of the University of Latvia, Rainis Blvd. 19, Riga, LV-1586, Latvia

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

Introduction and Motivation

Optical whispering gallery mode (WGM) resonators keep the light wave circulating inside by the total internal reflection effect, but a small portion of light (evanescent surface wave) exists also outside in direct proximity to the surface.

WGM resonators significantly increase the effective path length of the light allowing to make sensors of single molecules attaching to the surface [1]. We use silica microsphere resonators [2].

For biosensing applications it is necessary to functionalize the surface to facilitate attachment of molecules. As the first layer we are coating the WGMR surface with ZnO and investigate the changes of optical Q factor.

ZnO coating:

- Transparent and conformal coating
- High refractive index
- Controlled thickness
- Not used before as a coating for WGM resonators
- We deposited 5, 10, 20, 50 and 100 nm layers

Resonator quality factor:

$$Q = \omega \cdot \tau$$

$$Q = \nu_0 / \Delta\nu$$

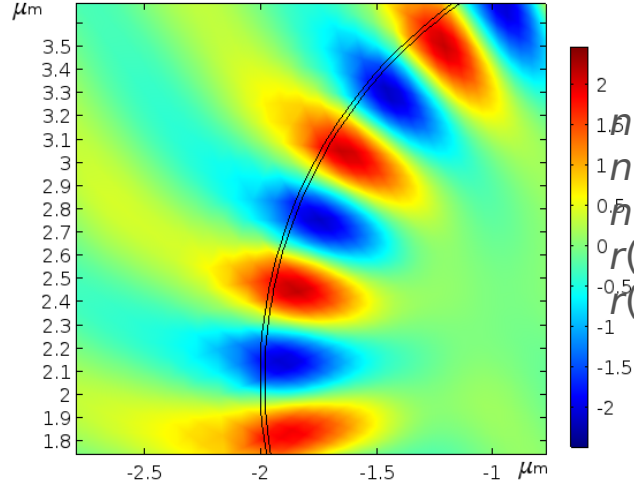
[1] F. Vollmer, S. Arnold, "Whispering-gallery-mode biosensing: label-free detection down to single molecules", Nature Methods **5**, 591-596 (2008).

[2] I. Brice, A. Pirktina, A. Ubele, K. Grundsteins, A. Atvars, R. Viter, J. Alnis, "Development of optical WGM resonators for biosensors",

Modeling WGM resonator with ZnO coating

Tiny resonator $D=4\ \mu\text{m}$

$\lambda(54)=8.1417\text{E-}7\ \text{m}$ $\text{freq}(1)=3.6822\text{E}14\ \text{Hz}$
Surface: Electric field, z component (V/m)



D thickness = 20 nm

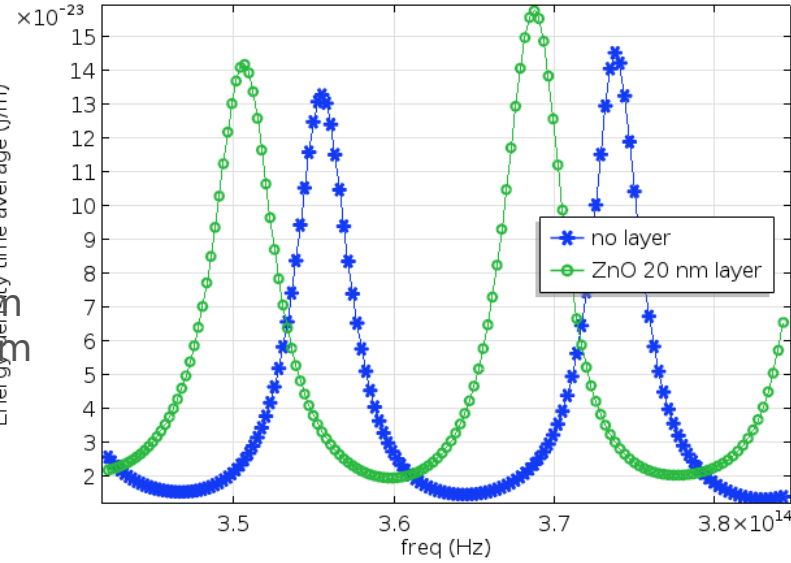
$n(\text{resonator}) = 1.45$

$n(\text{prism}) = 1.45$

$n(\text{ZnO}) = 1.95$

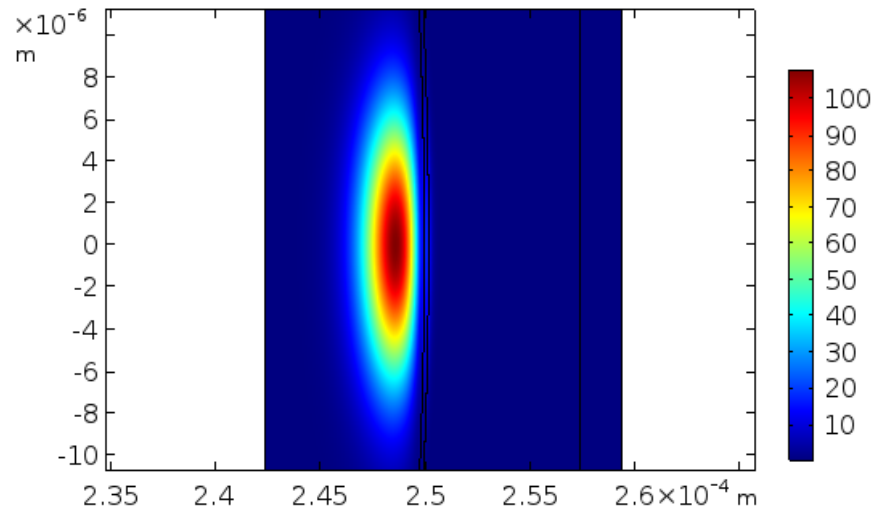
$r(\text{resonator, no ZnO}) = 2\ \mu\text{m}$

$r(\text{resonator, with ZnO}) = 2\ \mu\text{m}$

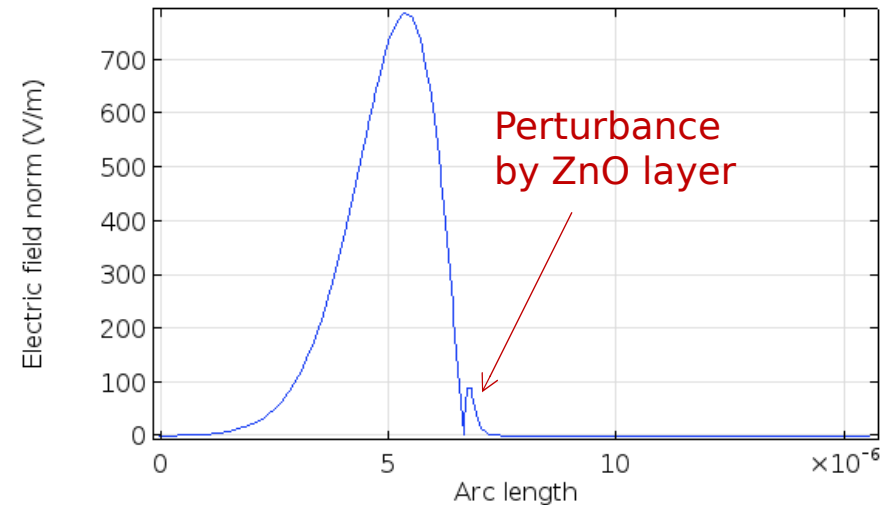


Large diameter resonator $D=500\ \mu\text{m}$, 20 nm coating

Eigenfrequency= $3.9479\text{E}14\ \text{Hz}$
Surface: Electric field norm (V/m)



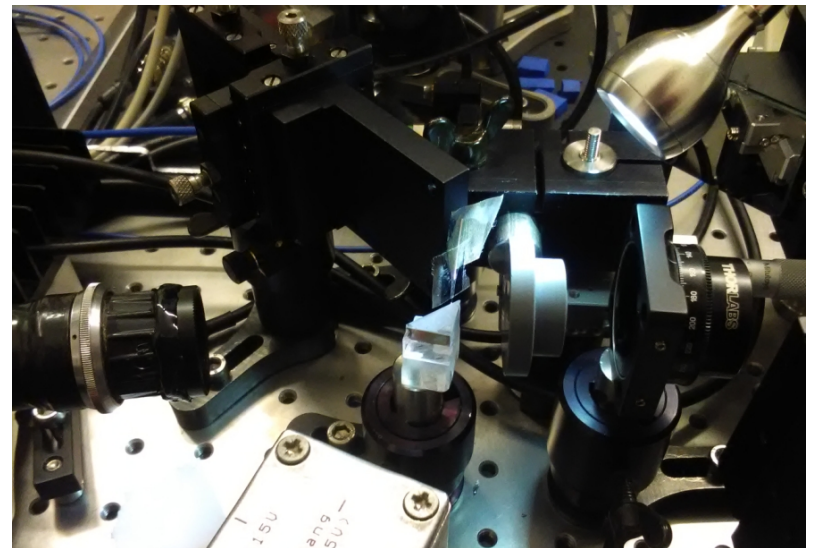
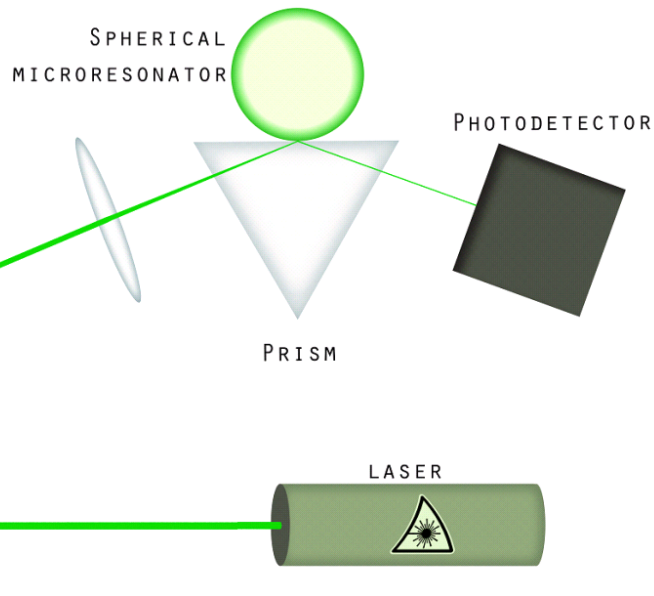
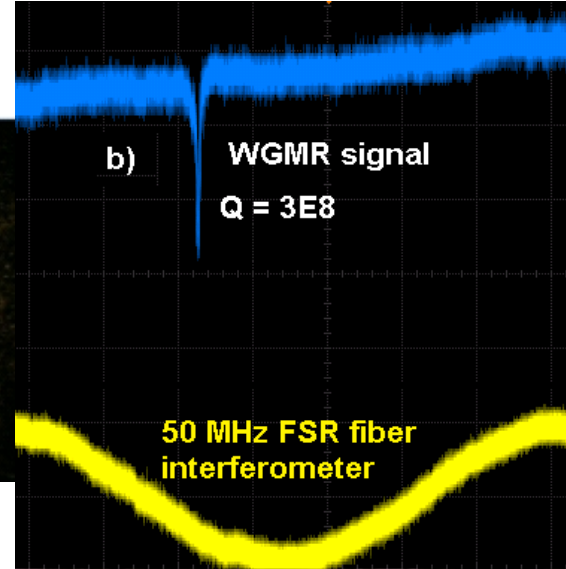
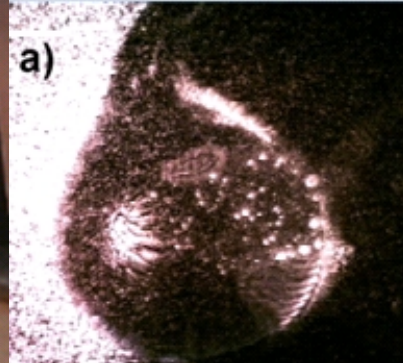
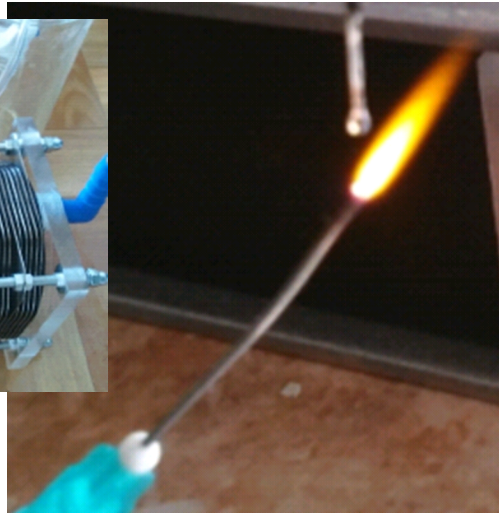
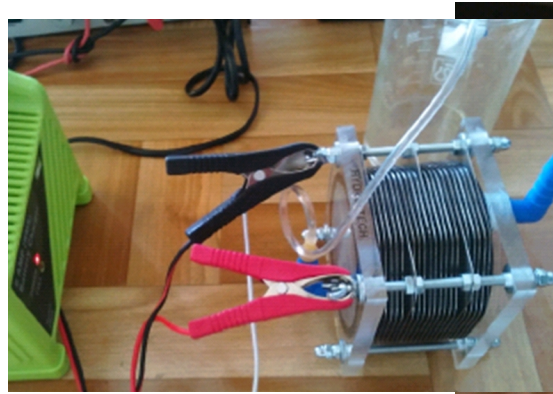
Line Graph: Electric field norm (V/m)



Fabrication and setup

Melting SiO_2 microsphere resonators from a telecom fiber *Corning SMF-28* with an oxy-hydrogen torch or with a CO_2 laser spheres with diameters 300-500 μm are obtained. We introduce light into the WGMR by prism coupling method.

For the excitation we use a tunable external cavity diode laser at 780 nm. We achieve optical Q factors in the 10^8 range.



Hydrothermal growth of ZnO nanorods

Zinc acetate+Isopropy

Precursors solution

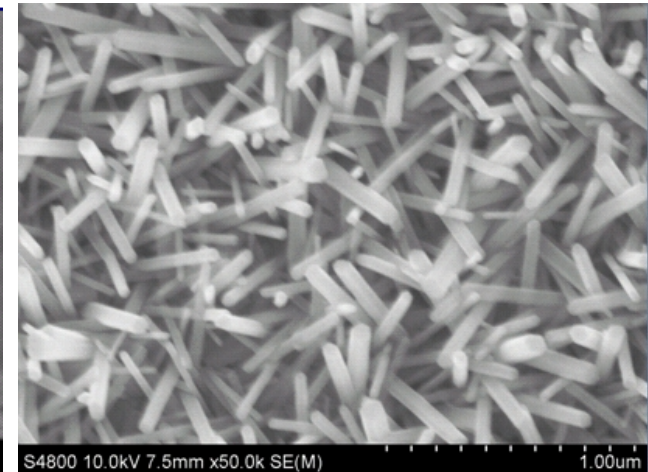
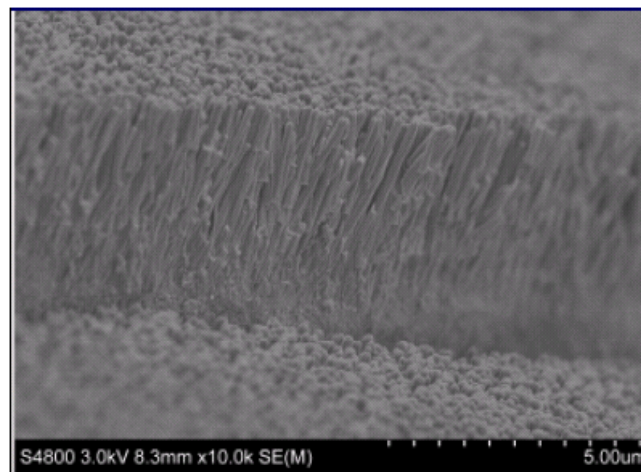
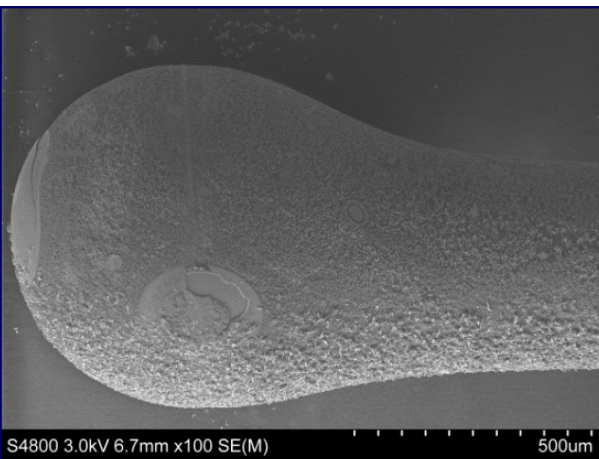
Spin coating



Anneal at 350°C-2hrs

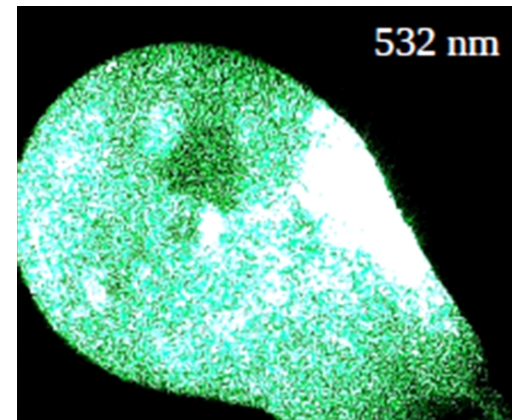
HMTA+ZnNO₃ 95°C-4hrs

Hydrothermal growth



Nanorods significantly increase the surface
That is important for biosensors.

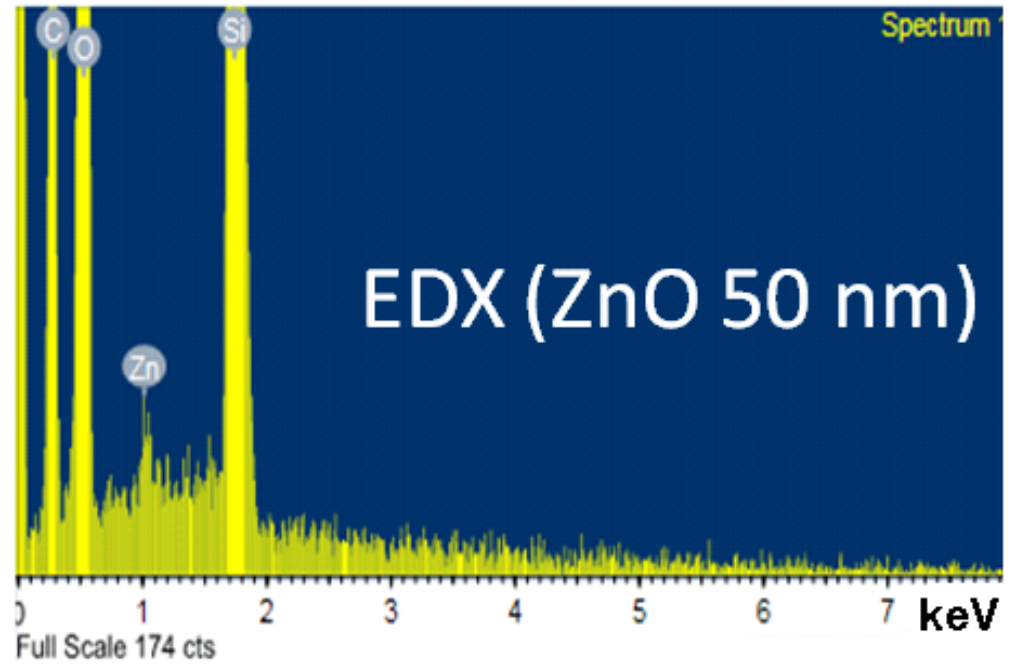
Testing with a 532 nm laser:
strong light scattering by nanorods
Not useful as optical WGM



Atomic layer deposition (ALD) of ZnO nanolayers

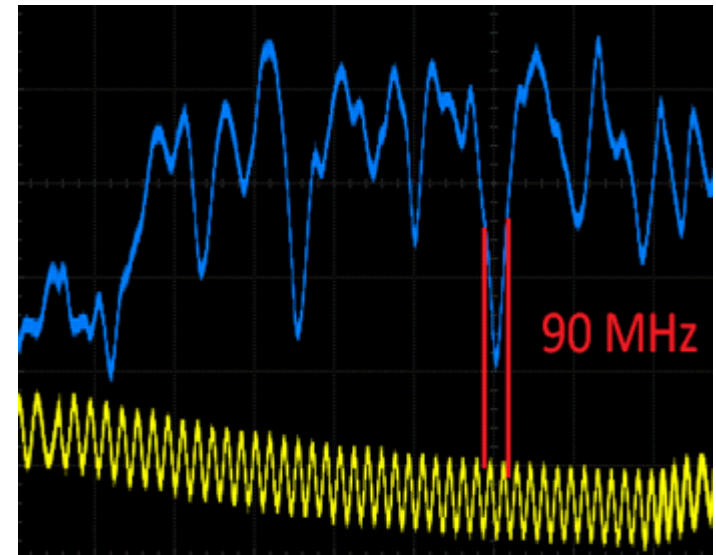
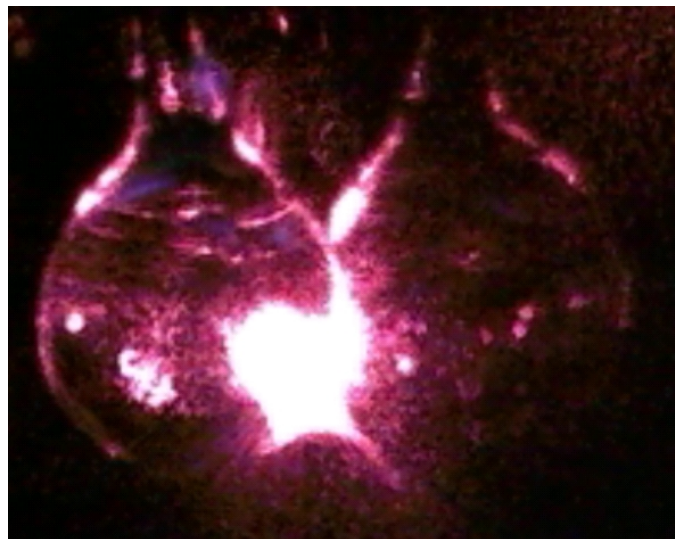
SEM 50 nm ZnO layer

X 80,000 10.0kV SEI 100nm CNBM SEM WD 9.0mm



500 um diameter
SiO₂ microsphere
coated with
20 nm ZnO.

Nice
WGM resonances!

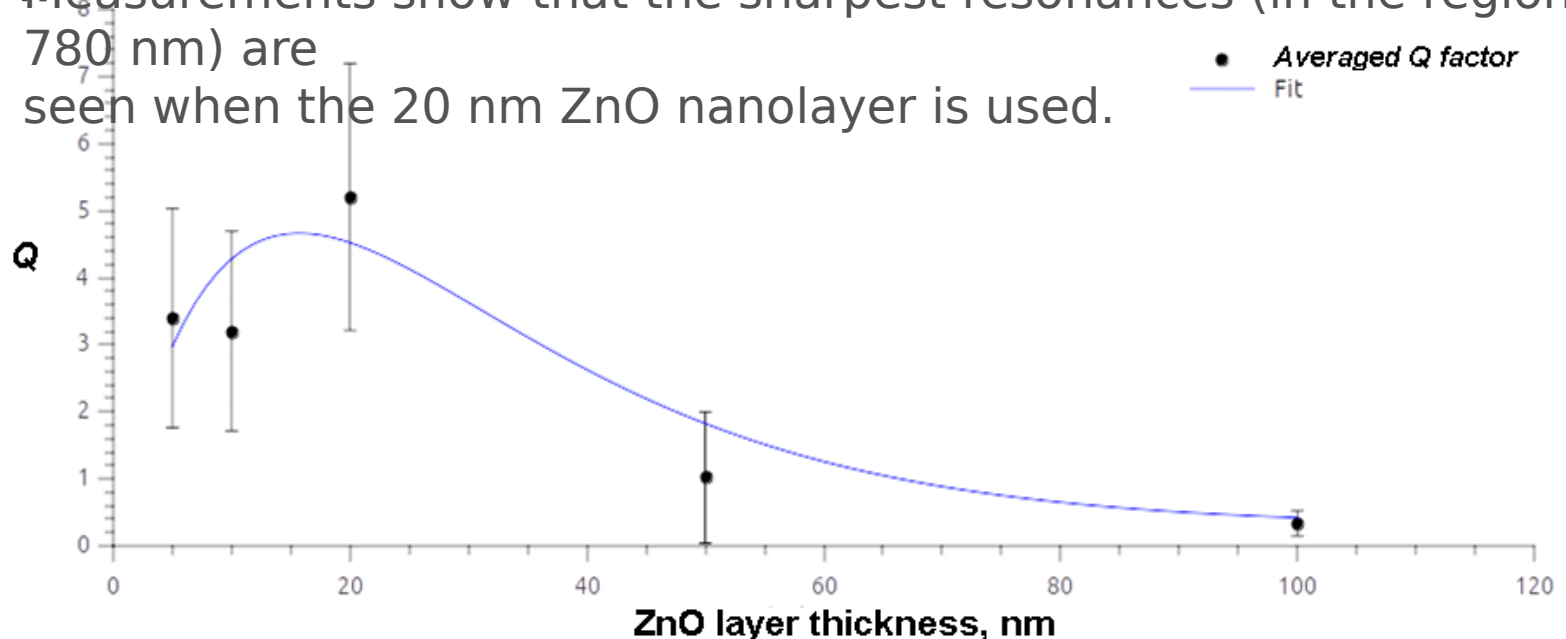


Results and conclusions

Atomic layer deposition (ALD) technique allowed to cover resonators with smooth ZnO nanolayers of 5, 10, 20, 50 and 100 nm thickness.

It was observed that resonators covered with ZnO are not attracted by Van der Waals force to the surface of prism, which is an advantage for fine tuning the optimal prism-resonator coupling distance.

Measurements show that the sharpest resonances (in the region of 780 nm) are seen when the 20 nm ZnO nanolayer is used.



UNIwersytet
JAGIELLONSKI

50th Anniversary EGAS conference

9 - 13 July 2018



Publicitāte - Bakalaura darbi

FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
FIZIKAS NODAĻA

ČUKSTOŠĀS GALERIJAS MODU MIKROREZONATORU MODELĒŠANA

BAKALaura DARBS

Darba autors: **Haralds Baumanis**

Darba vadītājs: Dr. Phys. Aigars Atvars

Dotajā darbā tiek aprakstīta teorija un modelēšanas rezultāti par gaismas izplatīšanos sfēriskos Čukstošās galerijas modu optiskajos mikrorezonatoros ar diametru 1 - 5 μm . Modelēšanai tiek izmantota COMSOL Multiphysics datorprogramma ar viļņu optikas moduli (Wave Optics Module). Tiek apskatītas sistēmas prizma-rezonators un optiskā šķiedra-rezonators. Kā galvenie kontroles parametri tiek izmantotas elektriskā lauka Ez komponentes kartes un laikā vidējotā enerģijas blīvuma vērtība rezonatorā. 2D vidē tiek modelēts gaistošās gaismas lauks, rezonatorā esošā starojuma atkarība no gaismas krišanas leņķa prizmā, šķiedras platuma, rezonatora attāluma līdz prizmai/šķiedrai, rezonatora izmēra un krītošās gaismas viļņa garuma. Iegūtie rezultāti tiek analizēti.

Čukstošās galerijas modu rezonatoriem ir dažādi pielietojumi, piemēram, tie var tik izmantoti kā frekvenču filtri, temperatūras sensori un biosensori. Dotajā darbā veiktā modelēšana dod ieguldījumu ERAF projekta Nr. 1.1.1.1/16/A/259 realizācijā kā arī mikrorezonatoru tematikas attīstībā.

Publicitāte - Bakalaura darbi

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE

FIZIKAS NODAĻA

**SAKARSĒTU ĶERMEŅU TEMPERATŪRAS NOTEIKŠANAS METODES
IZVEIDE, IZMANTOJOT PLANKA VIENĀDOJUMU UN
SPEKTROMETRU
BAKALaura DARBS**

Autors: Andra Pirktiņa

Darba vadītājs: Vadošais pētnieks Dr. phys. Jānis Alnis

ANOTĀCIJA

Čukstošo galeriju modu (ČGM) rezonatori mūsdienās ir vieni no populārākajām un visvairāk pētītajām optiskajām ierīcēm, jo ar to palīdzību tiek izveidotas ar vien jaunas, kompakas optiskās ierīces ar plašām pielietojuma iespējām. Vēl joprojām nav iespējams kontrolēt rezonatoru izveides parametrus, kausējot optisko šķiedru ar $H_2 + O_2$ liesmu, jo nav iespējams noteikt liesmas vai rezonatora temperatūru kausēšanas laikā.

Bakalaura darbā tika apskatīta un pētīta iespēja izveidot bezkontakta temperatūras mērīšanas metodi, izmantojot spektrometru, dažādus sakarsētu ķermeņu avotus un dažādas kalibrācijas metodes. Ar izstrādāto metodi tika veikts mēģinājums noteikt rezonatora temperatūru tā izgatavošanas procesā. Diemžēl metodes trūkumu dēļ temperatūru nebija iespējams noteikt. Bakalaura darbs sastāv no teorētiskās pārskata daļas un no eksperimentālās daļas, kurā ir aprakstīta spektrometru kalibrācija, dažādu sakarsētu ķermeņu spektru uzņemšana, dažādas temperatūras aprēķināšanas metodes, kā arī ietverti sasniegtie rezultāti.

Publicitāte - Bakalaura darbi

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
FIZIKAS NODAĻA

FOTOLUMINISCENCES ATKARĪBA NO TEMPERATŪRAS 1D CINKA OKSĪDA
NANOSTRUKTŪRĀM AR DAŽĀDĀM UZBŪVES ĪPAŠĪBĀM

BAKALaura DARBS

Autors: Daina Damberga

Darba vadītāji:

Dr. Phys. Roman Viter,

Dr. Phys. Jānis Alnis.

ĶĪGA 2018

Anotācija

Tika pētītas 1D ar ZnO pārklātas nanošķiedras ar dažādiem pārklājuma biezumiem.

1D ZnO nanostruktūras fotoluminiscence tika mērīta no 77 K līdz istabas temperatūrai.

1D ZnO aizliegtā zona tika pētīta ar optisko spektroskopiju.

Veikta emisijas spektra analīze un galveno parametru (ierosināšanas enerģijas, temperatūras koeficienti u.t.t.) aprēķins.

Tika veikta korelācija starp optiskajām un uzbūves īpašībām.