

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

I. Brice, D. Damberga, K. Grundšteins, U. Bērziņš, A. Atvars, R. Viter, J. Alnis

Atomfizikas un spektroskopijas institūts, Latvijas Universitāte, Rīga, Latvija

Par projektu

Dotais pētniecības projekts sniedz ieguldījumu sekojošu Latvijas viedās specializācijas stratēģijas noteikto tautsaimniecības transformācijas virzienu un izaugsmes prioritāšu īstenošanā un specializācijas jomu attīstībā:

- viedie materiāli, tehnoloģijas un inženiersistēmas:
 - tiek radīts CGM rezonatora prototips ar vislabāko sniegumu;
 - tiek radīta tehnoloģija CGM rezonatora stabilizēšanai ar Rb piesātinājuma spektroskopiju;
 - uz CGM rezonatora bāzes tiek radīts biomolekulu sensora prototips;
- informācijas un komunikācijas tehnoloģijas, jo tiek izstrādāta datorprogramma, kura modelē CGM rezonatoru signālus;
- biomedicīna, medicīnas tehnoloģija, biofarmācija un biotehnoloģija, jo tiek iegūtas zināšanas biosensoru izstrādes jomā.

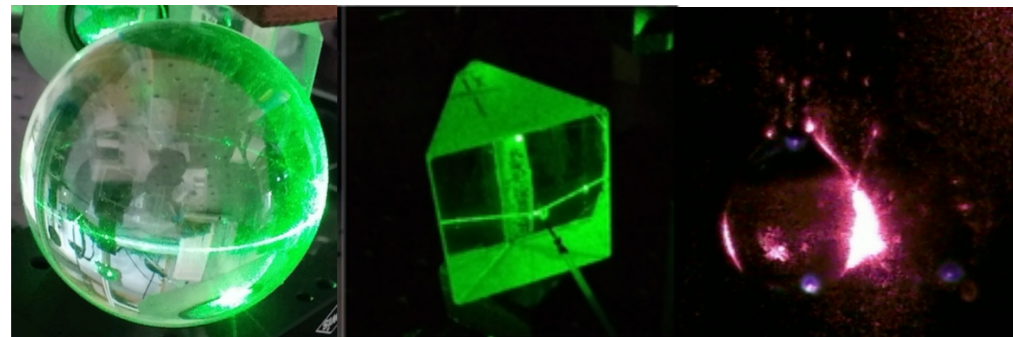
ERAF projekts Nr. 1.1.1.1/16/A/259

Projekta mērķis: jaunu zināšanu-zinātnības iegūšana ČGM 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.

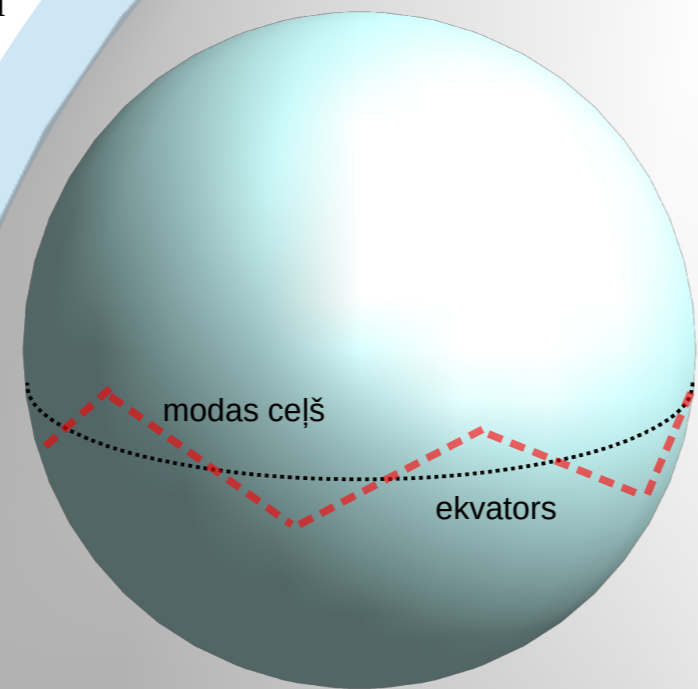
Projekta īstenošanas laiks:
01.03.2017. - 30.08.2019. (2,5 gadi)



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Čukstošās galerijas modas (CGM) rezonatori tiek veidoti no apaļas formas optiski caurspīdīga materiāla un uztur tās iekšienē ielaistu un cirkulējošu gaismas viļņu, izmantojot pilnās iekšējās atstarošanās efektu. CGM priekšrocība ir, ka tie der plašam starojuma krāsu diapazonam, tie ir kompakti, viegli un lētāki par klasiskajiem divu spoļu optiskajiem rezonatoriem. Stabilizējot lāzera emisiju uz rezonatora, būtiski sašaurinās lāzera spektrālais platumas, kas ir svarīgi, veidojot optiskos atomu pulksteņus, kā arī noder plašāk spektroskopijā un interferometrijā. Dr. Jāņa Alņa vadībā dotā projekta ietvaros Latvijā tiks ieviestas CGM rezonatoru izgatavošanas tehnoloģijas un pētniecības virziens, balstoties uz iepriekšēju pieredzi Vācijā. Tiks izveidots tehnoloģisks risinājums - tehnoloģijas prototips, kurā CGM rezonators tiek kombinēts ar piesātinājuma spektroskopiju rubīdija atomos, lai kompensētu termisko dreifu un uzlabotu ilglaicīgo stabilitāti. Mērījumiem tiks izmantota laboratorijā pieejamā moderna femtosekunžu optiskā frekvenču ķemme. Dr. Romāns Vīters, ar lielu pieredzi biosensoru izstrādē, vadīs projekta daļu, kur CGM rezonatori tiks testēti kā potenciālie biosensori. Tādēļ uz

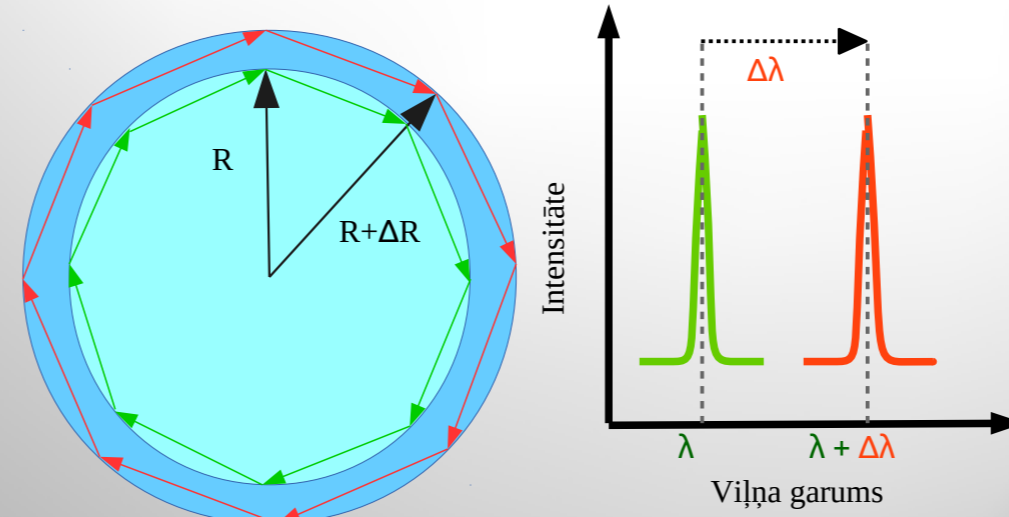


Ja rezonatora rādiuss ir ievērojami lielāks par viļņu garumu ($R \gg \lambda$), tad, lai notiktu konstruktīva interferenču pēc tam, gaismas staram atstarojoties no rezonatora virsmas vienu liknu apriņķojumu pilnīgas iekšējās atstarošanās dēļ, optiskā ceļa garumam jābūt vienādam veselam skaitlim viļņu garumu vidē:

$$l \approx \frac{2\pi RN}{\lambda}$$

ir rezonanses nosacījums, kur N ir refrakcijas koeficients, R ir rādiuss, λ ir viļņa garums un l ir vesels skaitlis, kas saistīts ar cirkulējošā fotona leņķisko momentu sfēriskajā mikrorezonatorā.

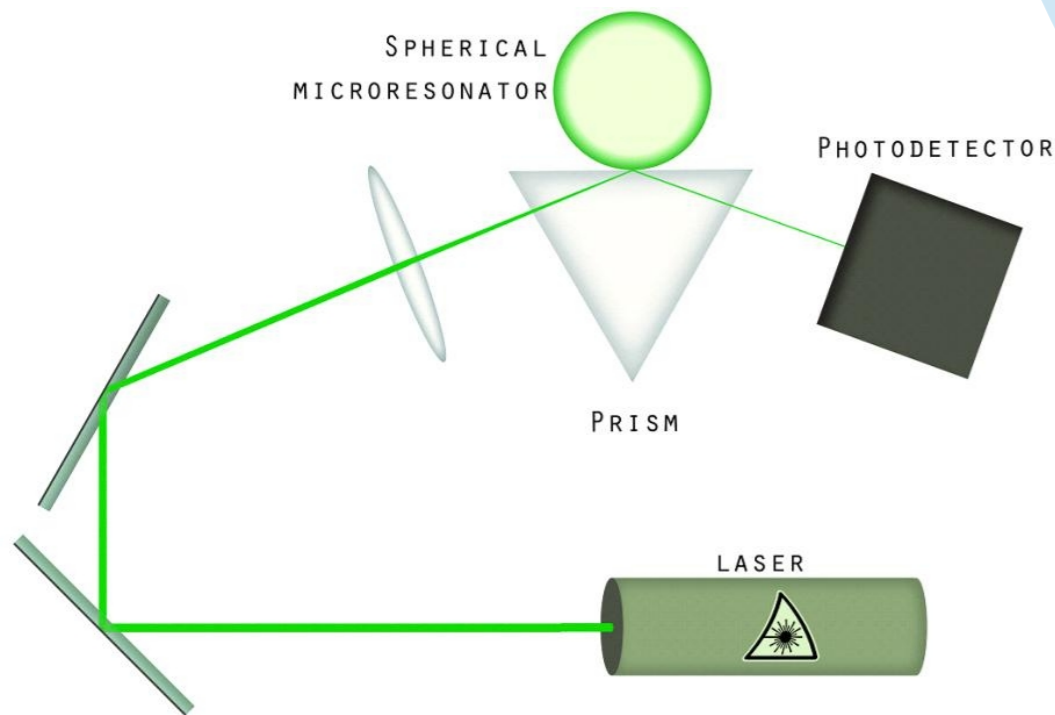
Sensori ir instrumenti, kurus izmanto, lai iegūtu informāciju par apkārtnējo vidi. ČGM rezonanses viļņa garums ir atkarīgs no ģeometriskām īpašībām - izmēra, formas un sastāva. Jebkuras rezonatora rādiusa ΔR vai refrakcijas indeksa ΔN izmaiņas



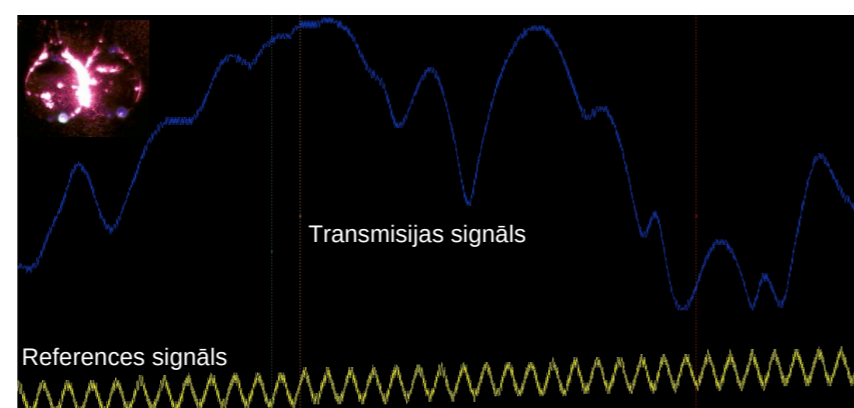
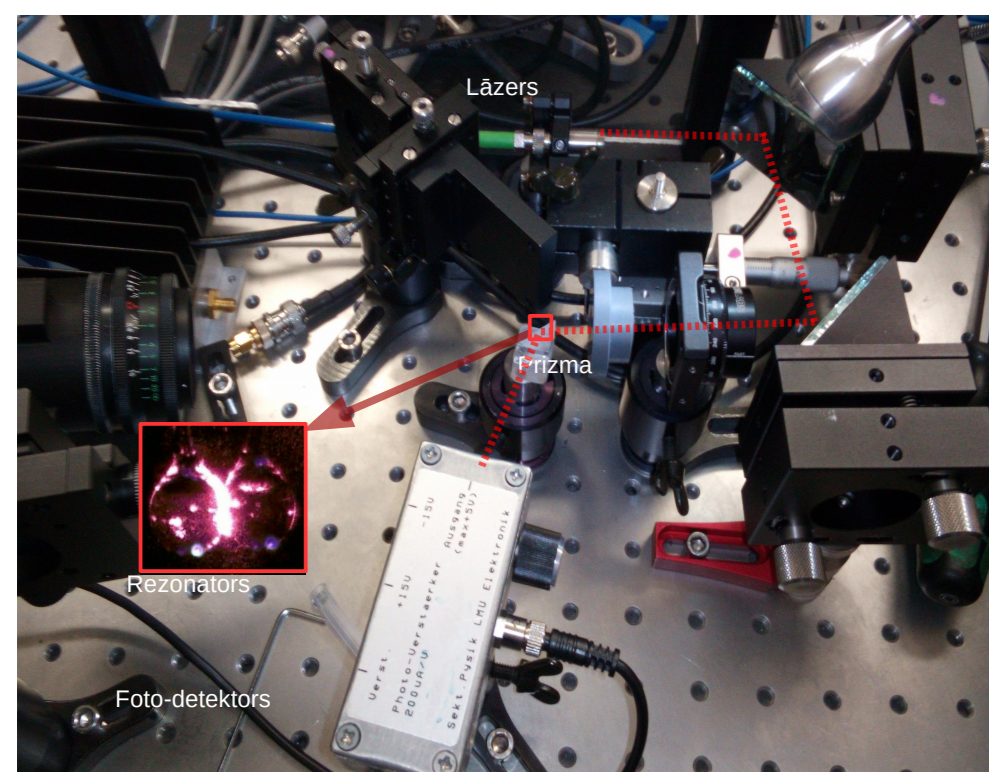
radīs ievērojamu izmaiņas rezonanses viļņa garumam $\Delta\lambda$ [1]. ČWGM rezonatori ļauj ievērojami palielināt efektīvo gaismas ceļa garumu, ļaujot detektēt molekulas piestiprināšanai pie virsmas [2].

Labuma faktora noteikšana

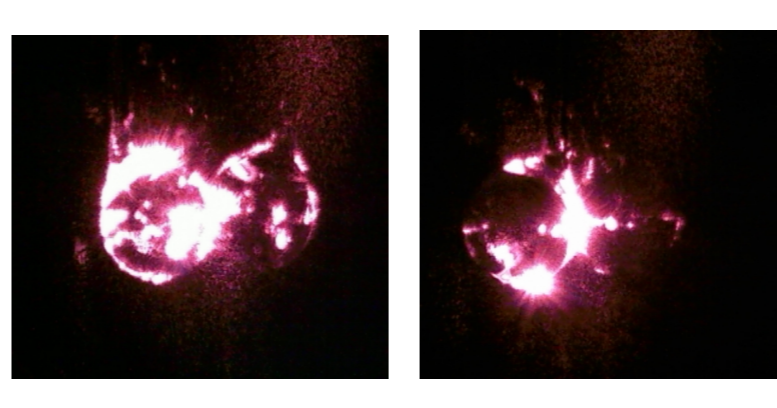
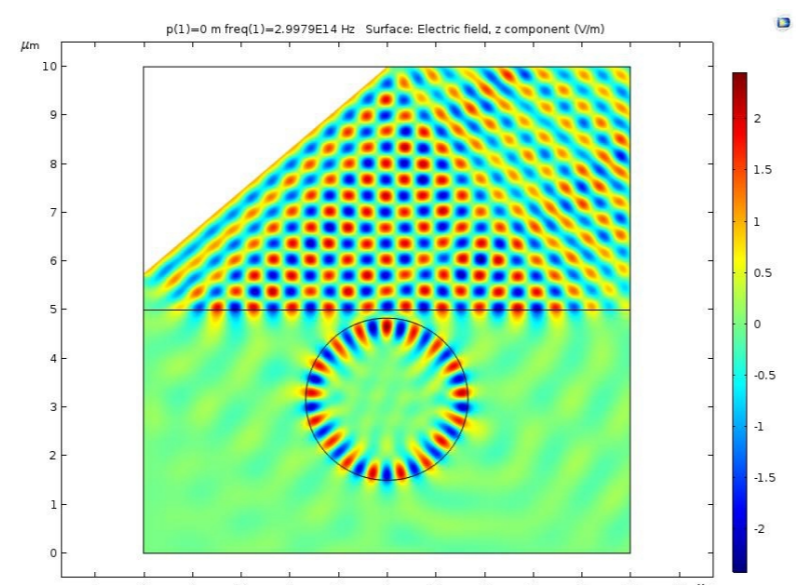
Visizplatītākā metode labuma faktora jeb Q faktora noteikšanai ir skenēšanas metode. Lāzers tiek smalki skenēts pie zemas frekvences ap rezonansi un vienlaicīgi tiek reģistrēta transmisijas intensitāte. Eksperimentāli laikā tiek novērotas transmisijas iekritiens, kad lāzera viļņa garums atrodas uz rezonanses.



Sistēmu veido 780 nm ECDL lāzers, pāris spoģuļi, lēca ($F = 1$ cm), sapārošanas prizma un foto-detektors, kas pievienots oscilogrāfam.



Kad gaisma ir veiksmīgi sapārota ar rezonatoru, mikroresonatora spīd un oscilogrāfā var novērot transmisijas spektrā iekritienus.

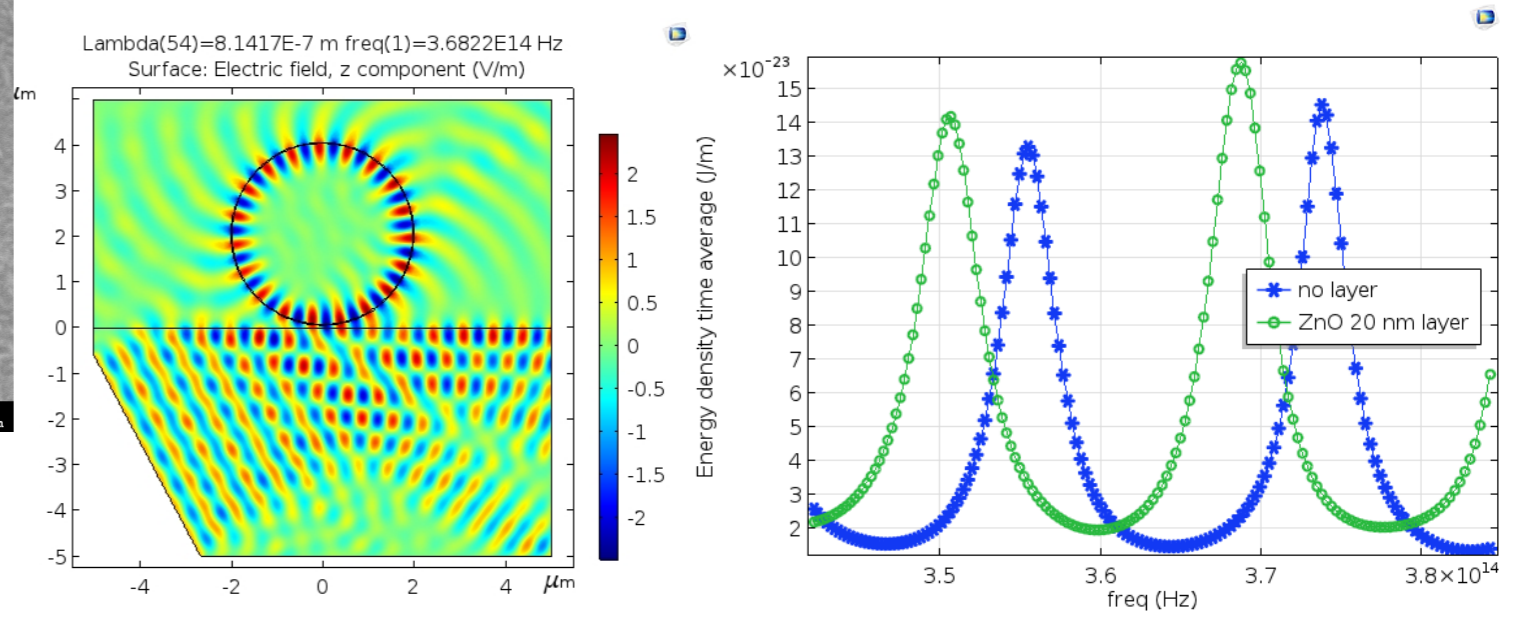


5 nm ZnO ($Q = 3 \cdot 10^6$) un bez ZnO ($Q = 6 \cdot 10^6$)



50 nm biezs ZnO pārklājums uzņemts ar SEM.

Modelēšana srezultāti, ja ZnO slāņa biežums ir 20 nm



Mikrosfēras rezonatora izgatavošana

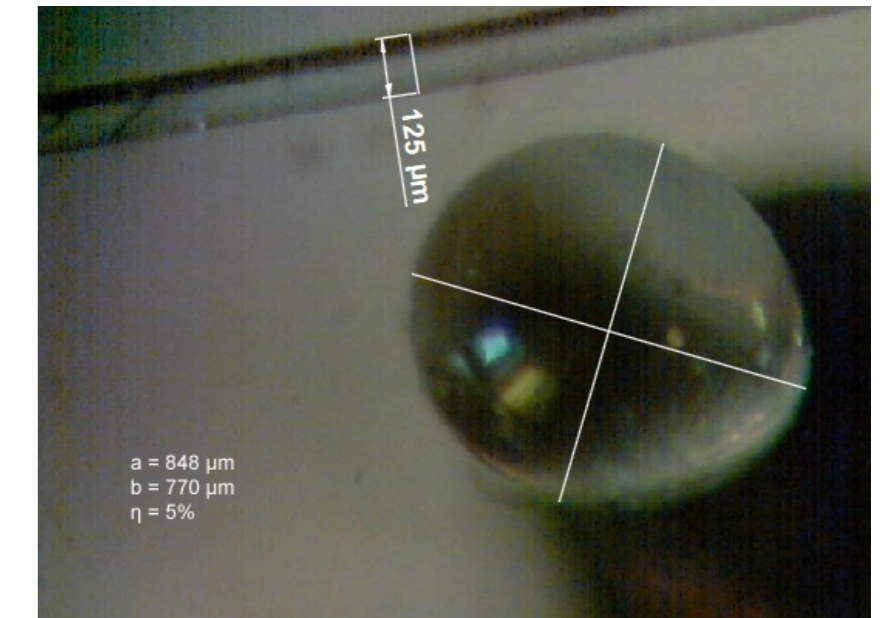
Optiskā šķiedra tiek kausēta liesmā un virsmas spraiguma dēļ tās galā aug lodīte.



Patiesībā mikrosfēras parasti nav pilnīgi sfēriskas. Dažādas deformācijas pakāpes var rasties, jo virsmas spraigums nepaspēj radīt perfektu sfēru.



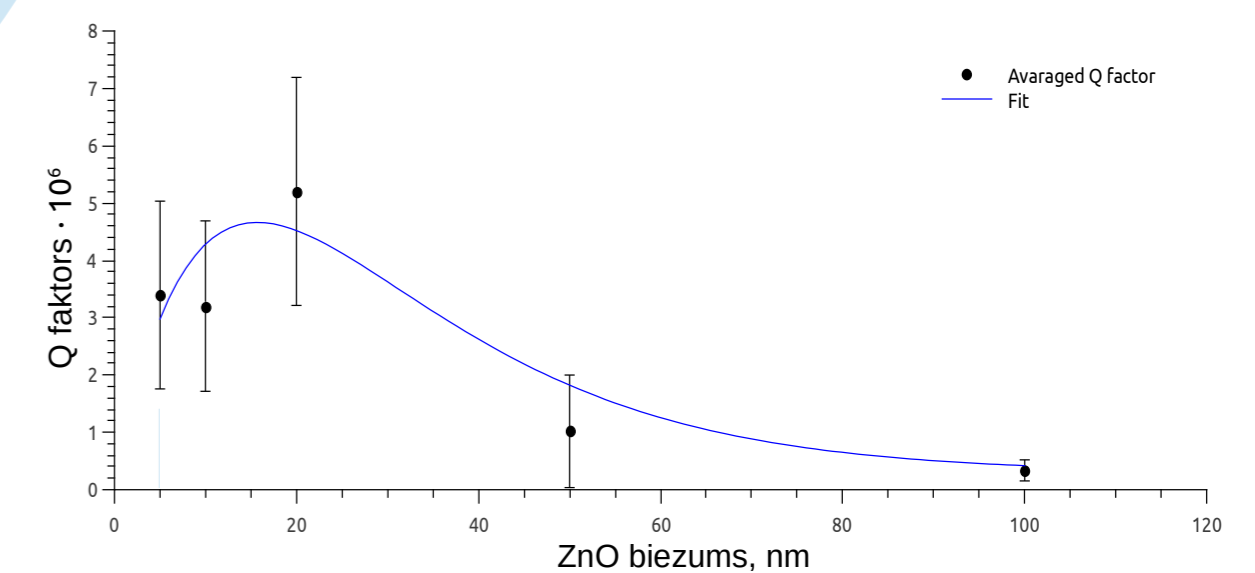
Neraugoties uz ģeometriskām priekšrocībām un mikrosfēras rezonatoru izgatavošanas vienkāršību, mikrosfēru veidošanos nevar reproducēt.



Mikrosfēras rezonatorus var izgatavot tieši uz standarta telekomunikāciju šķiedras gala, izmantojot piemēram, gāzes liesmu. Kā siltuma avots tika izvēlēts ūdeņraža liesmas deglis, jo ūdeņraža un skābekļa sadegšana rada tikai siltumu un ūdeni bez kvēpiem, toksiskiem vai nevēlamiem izgarojumiem, kas varētu nosēties uz mikrorezonatora virsmas. Šķiedra tiek kausēta un virsmas spraiguma dēļ tās galā aug lodīte. Atlikušie šķiedras gals pie sfēras noder, lai to varētu ērti turēt un apstrādāt. Vienīgais trūkums ir nepieciešams stikls stieņa vai šķiedras formā, un vienlaicīgi izgatavot var tikai vienu mikrosfēru. Sfērai ir zems virsmas raupjums, kas palīdz sensoram sasniegt ļoti augstus Q faktorus diapazonā no 10^6 līdz 10^9 .

Rezonatora pārklāšana ar ZnO

ZnO ir ļoti pazīstams materiāls dažādos optoelektronisko ierīču pielietojumos, piemēram, sensoros, biosensoros un optiskos pārklājumos. Atomu slāņu uzklāšanas metode (ALD) tika izvēlēta, jo ir iespējams kontrolēt nanolāņu struktūru un optiskās īpašības.



ZnO biežums ir svarīgs parametrs, kas ietekmē kristalizāciju, graudu izmēru un defektu koncentrāciju. Pārklājuma biežums un kvalitāte ir jāoptimizē, lai samazinātu virsmas raupjumu un samazinātu Q faktora samazināšanos.

Atsauces:

- [1] M.R. Foreman, J.D. Swaim and F. Vollmer, Whispering gallery mode sensors, *Advances in Optics and Photonics* 7(2) (2015)
- [2] F. Vollmer, S. Arnold, Whispering-gallery-mode biosensing, *Nature Methods* 5, 591 (2008).
- [3] A. Tereshchenko, M. Bechelany, R. Viter et al., Optical biosensors based on ZnO nanostructures: advantages and perspectives. A review, *Sensors and Actuators B: Chemical* 229, 664-677 (2016)

