



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

Projekta zinātnisko rezultātu pārskats

Atskaites periods Nr. 8.
(16.02.2021. - 15.05.2021.)

Projekts: Nr. 1.1.1.1/18/A/155 “Uz čukstošās galerijas modas mikrorezonatora bāzes veidota optisko frekvenču ķemmes ģenerators izstrāde un tā pielietojumi telekomunikācijās”.

Projekta realizētāji: Latvijas Universitāte (vadošais partneris), Rīgas Tehniskā universitāte, SIA “AFFOC Solutions”.

Projekta vispārējais mērķis: Veikt pētniecību, kas veicina Latvijas viedās specializācijas stratēģijas mērķu sasniegšanu, cilvēkkapitāla attīstību zinātnē un tehnoloģijās un jaunu zināšanu radīšanu, lai uzlabotu konkurētspēju tautsaimniecībā.

Projekta mērķis ir: iegūt jaunas zināšanas par čukstošo galeriju modu rezonatoru optiskajām frekvenču ķemmēm (WCOMBs) un izstrādāt, konstruēt un testēt ķemmes ģenerators prototipu telekomunikāciju pielietojumiem.

Projekta darbības un paveiktais pārskata periodā

Darbība 1. WCOMB izstrāde, modelēšana, testēšana un optimizēšana

Darbība 1.1. Dažādu ČGM rezonatoru izstrāde un iegūšana

Ekspērimētājam nepieciešamo rezonatoru izgatavošanai pārsvarā tiek izmantota mikrorezonatoru izgriešanas metode, kas kopumā vērtējama kā ļoti parocīga. Šādā veidā izveidotie toroīda rezonatori praktiski vienmēr ir ar ļoti augstu Q faktoru; tas nozīmē, ka tie ir derīgi pat precīzākajos eksperimentos. Viena un tā pati griešanas konfigurācija (lāzera jauda, apstarošanas ilgums, stienīša rotācijas ātrums un stara pozicionēšana) ļauj atkārtoti iegūt tādas pat paraugus. Metode uzskatāma par labu kvantitatīvu ražošanas piemēru, jo iespējams relatīvi īsā laikā (~5 minūtēs) iegūt vairākus rezonatorus uz vienas pamatnes, kas ietaupītu laiku.

Darbība 1.3. WCOMB sistēmas, kur tiek izmantota izstieptā šķiedra, izveide, testēšana un optimizēšana

Projekta eksperimentu vajadzībām no optiskajām šķiedrām tika izgatavoti un testēti jauni lodes formas ČGM rezonatori ar dažādu diametru. Tika novērots, ka ar mikrolodīšu rezonatoriem visstabilākās sanāk ķemmes ar 400 GHz starpkanālu attālumu ($d=167\ \mu\text{m}$); ar divreiz lielākām lodītēm ($d=330\ \mu\text{m}$) ieguvām ķemmes ar 200 GHz starpkanālu attālumu, tomēr ķemmes bija nestabilas. To skaidrojam iespējamām vairākām gaismas trajektorijām lielākā lodītē. Novērojām, ka izgatavoto lodīšu sfēriskās formas idealitātei arī ir liela ietekme uz ķemmju stabilitāti.

Adiabātiskas vienmodas trapecveida formas šķiedras izgatavošanai tika samontēts ūdeņraža liesmas deglis ar platu liesmu, kur ūdeņradis izplūst pa 8 blakus esošām medicīniskajām nerūsējošā tērauda adatiņām vienā rindā, kas ļauj vienmērīgi izstiept šķiedru ar maziem zudumiem un iegūt 90% lāzera starojuma transmisiju.

Sadarbības ietvaros ar Pascal Del'Haye Mikrofotonikas grupu *Max-Planck institute for the Science of Light Erlangen* Vācijā, tika saņemti un testēti divi viņu izgatavotie mikrostiņu toroīda formas optiskie rezonatori ar diametru 700 μm. Ieguvām frekvenču ķemmes ar 90 GHz attālumu starp līnijām, kas ir tuvu standarta 100 GHz starpkanālu attālumam DWDM optiskajās telekomunikācijās. Nepieciešams koriģēt nākamo izgatavojamo rezonatoru diametru. Izdevās ģenerēt stabilu ķemmi un uzlikt telekomunikāciju datus uz līnijām, summāri 0.5 Tbps. Strādājam pie stenda uzlabošanas lai ar CO₂ lāzervirpošanas metodi varētu izgatavot mikrostiņu toroīda rezonatorus LU ASI.

Darbība 1.4. ČGM rezonatoru efektu un WCOMB sistēmas matemātiskā modelēšana

Tika veikti dispersijas aprēķini mikroriņķu rezonatoriem uz čipa izgatavotiem ČGMR no SU8 fotorezista uz stikla pamatnes. Rezonatori integrēti uz čipa ir nākamais solis un ir ļoti aktīva tēma WCOMB nozarē pasaulē. Ar videokonferenču palīdzību uzsākta sadarbība ar LU Cietvielu fizikas institūtu par iespējām izgatavot rezonatorus uz čipa; veicam to parametru modelēšanu ar COMSOL *Multiphysics* un *Matlab*.

Darbība 2. Portatīva WCOMB izstrāde, izveide un testēšana pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās

Darbība 2.4. Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā
Laboratorijas vidē šķiedru optiskajam pārraides sistēmas modelim ar integrētu eksperimentāli izstrādātu WCOMB avotu veikta datu pārraide pie dažādiem datu pārraides ātrumiem līdz 40 Gbit/s kanālā, pielietojot NRZ-OOK nesējsignālu modulācijas formātu. Turpinās darbs pie datu saturoša pārraidāmā signāla kvalitātes novērtējuma atkarībā no šķiedru optiskās līnijas posma garuma un pielietotā modulācijas formāta veida.

Darbība 3. WCOMB prototipa pielāgošana un validēšana komerciālā šķiedru optisko sakaru sistēmā

Darbība 3.1 Portatīva WCOMB prototipa pielāgošana lauka testa vajadzībām komerciālā šķiedru optisko sakaru sistēmas infrastruktūrā

Ir izstrādāts WCOMB iekārtas prototips, kura mehāniskā izturība, kā arī ģenerēto harmoniku stabilitāte atbilst lauka testa vajadzībām. Turpinās darbs pie prototipa darbības novērtēšanas atkarībā no ārējās vides temperatūras un vibrāciju ietekmes.

Darbība 4. Projekta rezultātu izplatīšana

Darbība 4.1. Zinātnisko rakstu un konferenču tēžu publicēšana *Web of Science* vai *SCOPUS* (A vai B) datubāzēs iekļautos žurnālos vai rakstu krājumos

Atbilstoši projekta laika grafikam, veikta projekta ietvaros radīto rezultātu publicēšana augstas ietekmes žurnālos ar citēšanas indeksu vismaz 50% no nozares vidējā rādītāja.

- Raksti augstas ietekmes žurnālos ar citēšanas indeksu vismaz 50% no nozares vidējā rādītāja:
 - Salgals T., Alnis J., Murnieks R., Brice I., Porins J., Andrianov A.V., Anashkina E.A., Spolitis S., Bobrovs V. *Demonstration of fiber optical communication system employing silica microsphere-based OFC source*. pp. 1-10, OSA Opt. Express, 2021 (indeksēts SCOPUS datubāzē)
 - Spolitis S., Murnieks R., Skladova L., Salgals T., Andrianov A.V., Marisova M.P., Leuchs G., Anashkina E.A., Bobrovs V. *IM/DD WDM-PON communication system based on optical frequency comb generated in silica whispering gallery mode resonator*. pp. 1-11, IEEE Access, 2021 (indeksēts SCOPUS datubāzē)
 - I.Bersons, R.Veilande, O.Balcers. *Mathematical models of photons* – iesniegts *Journal of Mathematical Physics*
- Raksti konferenču rakstu krājumos:
 - Inga Brice, Karlis Grundsteins, Arvids Sedulis, Toms Salgals, Sandis Spolitis, Vjaceslavs Bobrovs, Janis Alnis. *Frequency comb generation in whispering gallery mode silica microsphere resonators*. Proc. SPIE 11672, Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XXIII, 1167213; doi: 10.1117/12.2577148 (SCOPUS datubāzē)

Darbība 4.4. Projekta rezultātu izplatīšana konferencēs

Par projekta rezultātiem ziņots starptautiskās konferencēs. Diemžēl, pasaules epidemioloģiskās situācijas dēļ, joprojām visas starptautiskās konferences notiek attālināti tiešsaistes režīmā.

- 2021.gada 6.-11.marts. *Photonics West 2021 Digital Forum*. I.Brice, K.Grundsteins, A.Sedulis, T.Salgals, S.Spolitis, V.Bobrovs, J.Alnis - *Frequency comb generation in whispering gallery mode microsphere resonators*
- 2021.gada 16.-19.marts. *64th International Conference for Students of Physics and Natural Sciences – Open Readings 2021*. Kristians Draguns, Inga Brice, Toms Salgals, Janis Alnis. *Dispersion Engineering of Whispering Gallery Mode Resonators for Frequency Comb Generation and Telecommunication Applications*
- 2021.gada 22.-23.aprīlis. *4th International conference "Quantum Optics and Photonics 2021"*; tiešsaistē Zoom vidē:
 - Jānis Alnis, Aigars Atvars, Roberts Berķis, Dina Bērziņa, Uldis Bērziņš, Inga Brice, Artūrs Ciniņš, Kristians Draguns, Kārlis Grundsteins, Viesturs Ignatāns, Pauls Kristaps Reinis, Lāse Mīlgrāve, Arvids Sedulis, Alma Ūbele. *From ultra-stable laser resonators for atomic spectroscopy and fiber-based femtosecond optical frequency combs to whispering-gallery-mode microresonator sensors and microsphere optical frequency combs for telecommunication data transfer*
 - Inga Brice, Toms Salgals, Vjaceslavs Bobrovs, Roman Viter, Janis Alnis. *Whispering gallery mode silica microsphere resonator applications for biosensing and communications*
 - Kristians Draguns, Inga Brice, Aigars Atvars, Jānis Alnis. *Dispersion engineering of whispering gallery mode resonators*

- Toms Salgals, Janis Alnis, Rihards Murnieks, Inga Brice, Jurgis Porins, Alexey V. Andrianov, Elena A. Anashkina, Sandis Spolitis, Vjaceslavs Bobrovs. *Microsphere-based OFC-WGMR multi-wavelength source and its applications in telecommunications*

Darbība 4.5. Publicitāte

LU ASI Kvantu optikas laboratorija piedalījās Zinātnieku naktī 2021.gada 30.aprīlī (<https://www.zinatniekunakts2021.lv>). Materiāli pieejami arī pēc pasākuma LU ASI Kvantu optikas laboratorijas mājas lapā (<https://www.youtube.com/watch?v=7YXEUTA2yo4> un <https://www.youtube.com/watch?v=btUQq6zzUyE>).