



Projekta zinātnisko rezultātu pārskats

Atskaites periods Nr. 9.
(16.05.2021. - 15.08.2021.)

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

Vasaras mēnešos augstā gaisa mitruma dēļ novērota silīcija dioksīda rezonatora Q faktora ātra noārdīšanās (vienas dienas laikā sasniedzot salīdzinoši zemu Q faktoru ar kārtu 10^5), kas apgrūtināja ķemmes eksperimentu veikšanu.

Tika konstatēts, ka arī konusveida šķiedru virsma pasliktinājās paaugstinātā atmosfēras mitruma apstākļos. Nosūtot sarkano lāzera rādītāja gaismu caur konusveida šķiedru, tika novērots, ka izkliedes centri pēkšņi parādās konusveida sadaļā. Izkliedes centri parādījās daudz biežāk, ja apkārtējā gaisa mitrums tika paaugstināts par aptuveni 80% RH. Mēs skaidrojam šo efektu ar siloksāna -OH radikāļu veidošanos.

Izgatavoti jauni rezonatoru paraugi gan uz čipa, gan uz stikla stieņa; lai novērtu paraugu strauju degradēšanos, tie tiks testēti, kad mitruma līmenis laboratorijā samazināsies. Veikta uz čipa izgatavotu mikrodisku rezonatoru testēšana, kas iegūta no Del'Haye grupas Vācijā (sk. Darbība 1.6).

Veikta mikrosfēru izgatavošanas ar lokizlādi protokola optimizācija, lai iegūtu rezonatorus ar augstu Q faktoru.

Darbība 1.2. WCOMB sistēmas, kur tiek izmantota prizma, izveide, testēšana un optimizēšana

Darbība pabeigta, plānotie mērījumu rezultāti iegūti – notiek to apkopošana un sistematizēšana.

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

Iekārta tika piemērota uz čipa izgatavotu mikrodisku pētījumiem. Nepieciešama sistēma, kas piemērotāka tieši uz čipa izgatavoto paraugu testēšanai. Lai būtu iespējams pārbaudīt, vai ir labākas ČGM rezonanses, sistēmai pievienots Peltjē elements temperatūras kontrolei un rezonanšu pozīciju pārbīdei.

Darbība 1.4. ČGM rezonatoru efektu un WCOMB sistēmas matemātiskā modelēšana

Veiktas COMSOL Multiphysics simulācijas, meklējot rezonanses frekvences dažāda izmēra riņķa rezonatoriem. Rezonanšu dati tika apstrādāti, lai atrastu brīvo spektrālo apgabalu un rezonatoru raksturojošo dispersiju. Tālāk, risinot Lugiato-Lefevēra vienādojumu, tika meklēti parametri, pie kādiem rezonators strādā viena solitona režīmā, kurā veidojas laikā stabilas frekvenču ķemmes.

Lai labāk izprastu fotona dabu, tika turpināts darbs pie fotona matemātiskajiem modeļiem, apskatot fotona atstarošanos un refrakciju no dielektriskas virsmas. Rezultāti tika prezentēti 2 starptautiskās konferencēs virtuālā formā (sk. Darbība 4.4).

Darbība 1.5. Uzlabota WCOMB izveide, testēšana un optimizēšana universālam pielietojumam

Uzsāktajos eksperimentos konstatēts, ka plastmasas traukiem ir porainība un mitruma caurlaidība, tāpēc gala ķemmes prototipa korpuss ir jāveido hermētiski no metāla un stikla materiāliem. Telcom šķiedru savienošanas kastēs mitrums tiek izvadīts, sūknējot kārbu līdz 2 atm. spiedienam. Rūpnīcās mitrums tiek izvadīts, noskalojot ar sausu slāpekli; projekta eksperimentā sākotnēji izmantots fosfora pentoksīds (P_2O_5).

Darbība 1.6. Zinātniskās vizītes

Notikusi projekta darbinieka Arvīda Seduļa zinātniskā vizīte Erlangenā, Vācijā, Gaismas pētīšanas institūtā (*Max Planck Institute for the Science of Light, Del'Haye "Microphotonics" Research Group*). Vizītes laikā tika apgūtas jaunas prasmes rezonatoru izgatavošanai uz čipa, uz mikrostienīša, kā arī mikrosfēru izveidei ar šķiedru metinātāja palīdzību.

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, izmantojot dažāda garuma šķiedru optiskās pārraides līnijas posmus, veikta datu pārraide pie datu pārraides ātrumiem līdz 40 Gbit/s kanālā, pielietojot NRZ-OOK un PAM-4 nesējsignālu modulācijas formātus.

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

Darbības ietvaros izstrādāts WCOMB iekārtas prototips, kura mehāniskā izturība, kā arī ģenerēto harmoniku stabilitāte, atbilst lauka testa vajadzībām. Turpinās darbs pie prototipa izturības un darbības novērtēšanas, stabilitātes analīzes nepieciešamas lauka apstākļiem, kā arī ilgtermiņa darbības atkarībā no temperatūras, vibrāciju svārstību u.c. faktoru ietekmes.

Darbība 3.2. Portatīva WCOMB prototipa validēšana komerciālā šķiedru optisko sakaru sistēmā

Atbilstoši projekta laika grafikam, tiek veikts darbs pie atbilstoša komerciāla šķiedru optiskās līnijas posma atrašanas WCOMB prototipa validēšanai.

Darbība 4. Projekta rezultātu izplatīšana

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

Iesniegta publikācija žurnālā *Phys. Lett. A*: I.Bersons, R.Veilande, O.Balcers “*Reflection and refraction of photons*”.

Darbība 4.2. Intelektuālā īpašuma tiesību pārvaldīšana

Veikta rezonatoru izgatavošanas zinātnības dokumenta ievaddaļas sagatavošana par dažādu izgatavošanas materiālu un rezonatoru ģeometrijas salīdzināšanu.

Uzsākts darbs pie Latvijas patenta pieteikuma par portatīvu WCOMB ģeneratora tehnoloģiju.

Darbība 4.4. Projekta rezultātu izplatīšana konferencēs

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

- 2021.gada 6.-8.jūlijs. 52nd *Conference of the European Group on Atomic Systems* – EGAS 52. I.Bersons, R.Veilande, O.Balcers - *The new mathematical model of photons*
- 2021.gada 20.-23.jūlijs. 32nd *International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions* – ViCPEAC 2021. I.Bersons, R.Veilande, O.Balcers - *Three mathematical models of photons*.

Darbība 4.5. Publicitāte

LU ASI atklātajos semināros projekta darbinieki ziņoja par kvalifikācijas darbu izstrādāšanu (tiešsaistē):

- 2021.gada 27.maijs. Arvīds Sedulis – bakalaura darbs ‘ČGM rezonatoru izgatavošana un pielietošana optisko frekvenču ķemmes ģenerēšanai’
- 2021.gada 10.jūnijs. Kristians Draguns – maģistra darbs ‘Čukstošās galerijas modu mikrorezonatoru dispersijas optimizēšana kerra frekvenču ķemmes ģenerēšanai viena solitona režīmā’
- 2021.gada 17.jūnijs. Inga Brice – promocijas darbs ‘Čukstošās galerijas modas silīcija dioksīda mikrosfēras rezonatoru pielietojumi biosensoros un optisko frekvenču ķemmēm’

RTU TI rīkotajās vasaras skolās ārvalstu (t.sk. Francijas) universitāšu studentiem un dalībniekiem lekciju ietvaros veikta zināšanu pārnese un ziņojumi par projektā sasniegtajiem rezultātiem:

- 2021.gada 17.-28.maijs. Vasaras skola *Da-Vinci “Internship”* - Jurgis Poriņš un Toms Salgals *“Internet of Things - Smart City Trends and New Opportunities: Frequency Comb sources and their application in telecommunications”*;
- 2021.gada 12.-30.jūlijs. Vasaras skola *Internet of Things (IoT) for Smart Cities* - Jurgis Poriņš un Toms Salgals *“Frequency Comb sources and their application in telecommunications”*.

RTU atklātie darbsemināri (tiešsaistē):

- 14.-15.jūlijs. *“First Workshop of EUt+ Sustainability Lab”* - Toms Salgals, Sandis Spolītis, Jurgis Poriņš, Armands Ostrovskis, Tamara Sharashidze, Laura Skladova, Rihards Mūrnieks, Vjačeslavs Bobrovs *“Silica microsphere-based OFC sources for C-band fiber optical communication systems”*.

Publicēts:16.08.2021.