

«Uz čukstošās galerijas modas mikrorezonatora bāzes veidota optisko frekvenču ķemmes ģenerators izstrāde un tā pielietojumi telekomunikācijās» (1.1.1.1/18/A/155)

Projekta atskaite (16.05.2019. – 19.09.2019.)

Jurģis Poriņš

Vadošais pētnieks

19.09.2019.

ar SIA AFFOC Solutions līdzdalību



RTU
ELEKTRONIKAS UN
TELEKOMUNIKĀCIJU
FAKULTĀTE

Projekta mērķis

- **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 realizācija

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

2.1. Eksistējošo WCOMB ģeneratoru veidu, risinājumu un realizāciju izpēte šķiedru optiskajās sakaru sistēmās (M6);

2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās (M15);

2.3. Uz WCOMB bāzes veidotas optisko sakaru sistēmas matemātiskā modelēšana (M18);

2.4. Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā (M24)

2.1. Eksistējošo WCOMB ģeneratoru veidu, risinājumu un realizāciju izpēte šķiedru optiskajās sakaru sistēmās (1/2)

1. Veikta starptautisku konferenču rakstu un žurnālu analīze un izpēte (kopumā 22 publikācijas):

- "In-fiber whispering-gallery mode microsphere resonator-based integrated device", Optics Letters (2018).
- "A stable microsphere whispering gallery mode resonator", Opto-Electronics and Communications Conference (OECC) and Photonics Global Conference (PGC) (2017).
- "Harnessing speckle for a sub-femtometre resolved broadband wavemeter and laser stabilization", Nature Communications (2017).
- "Ultra-narrow linewidth Brillouin laser with nanokelvin temperature self-referencing", Optica (2019).
- "Microresonator-based optical frequency combs for high-bitrate WDM data transmission", OFC/NFOEC (2012).
- "Optical combs with a crystalline whispering gallery mode resonator", Physical Review Letters (2008).
- "Demonstration of high-Q microspheres in indium fluoride, a versatile new mid-IR glass", IEEE Photonics Conference 2012 (2012).
- "Stabilized C-Band Kerr Frequency Comb", IEEE Photonics Journal (2017).
- "Generation of optical frequency combs with a CaF₂ resonator", Optics Letters (2009).
- "Generation of near-infrared frequency combs from a MgF₂ whispering gallery mode resonator", Optics Letters (2011).
- "A Whispering-Gallery-Mode Microsphere Resonator on a No-Core Fiber Tip", IEEE Photonics Technology Letters (2018).

2.1. Eksistējošo WCOMB ģeneratoru veidu, risinājumu un realizāciju izpēte šķiedru optiskajās sakaru sistēmās (2/2)

- “On Frequency Combs in Monolithic Resonators”. Nanophotonics (2016).
- “Whispering Gallery Mode Oscillators and Optical Comb Generators”. Frequency Standards and Metrology, Proceeding of the 7th Symposium, Asilomar Conference Grounds (2009).
- “Generation of Kerr Combs in MgF₂ and CaF₂ Microresonators”. Joint Conference of the IEEE International Frequency Control and the European Frequency and Time Forum (FCS) Proceedings (2011).
- “Optical Frequency Comb generation from a monolithic microresonator” Nature Letters (2007).
- “Energy Efficient Kerr Frequency Combs for Optical Communication”. IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series (SUM) (2016).
- “Resonant electro-optic frequency comb”. Nature Letters (2019).
- “Terabit-Rate Transmission Using Optical Frequency Comb Sources”. Karlsruhe Series in Photonics & Communications, Vol. 20. (2017).
- “Optimally Coherent Kerr Combs Generated with Crystalline Whispering Gallery Mode Resonators for Ultrahigh Capacity Fiber Communications”. Physical Review Letters (2015).
- “Coherent Terabit Communications with microresonator Kerr frequency Combs”. Nature Photonics (2014).
- “Full C and L-Band Transmission at 20 Tbit/s Using Cavity-Soliton Kerr Frequency Combs”. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) (2015).
- “Transmission of a 1.44 Tbit/s data stream using a feedback-stabilized SiN Kerr frequency comb source”. OFC (2014).

2. Veikts zinātniskās literatūras apkopojums un norit darbs pie 2.1. nodevuma atskaites izstrādes;

3. No iegūtiem rezultātiem plānots izstrādāt Zinātnisko publikāciju (*Concept paper*).

WGM mikrorezonatoru klasifikācija

WGM mikrorezonators var iedalīt pēc diviem parametriem - izmantotā materiāla un formas, piemēram:

1. Pēc izmantotā materiāla – kristāliskie mikrorezonatori:

- a. Kalcija Fluorīda (CaF_2) rezonatori;
- b. Magnija Fluorīda (MgF_2) rezonatori;
- c. Silīcija Nitrīda (SiN) rezonatori.

2. Pēc rezonatora formas:

- a. Gredzenveida rezonatori (*ring resonator*);
- b. Monolītiski sfēras rezonatori (*monolithic sphere resonator*).

Optiskās frekvenču ķemmes pielietojuma sfēras

1) Optiskajās sakaru sistēmās (laboratorijas ietvaros):

- SiN mikrorezonators WDM datu pārraides sistēmā ar 40 Gbit/s RZ OOK kanāliem
- Koherentai datu pārraidei ar kopējo pārraides ātrumu 400 Gbit/s
- Datu pārraidei ar kopējo pārraides ātrumu 1.35 Tbit/s ar SMF distanci 300 km
- Datu pārraide ar kopējo pārraides ātrumu 19.7 Tbit/s ar SMF distanci 75 km.

2) Optisko pulksteņi (*optical clocks*)

3) RF oscilatoros ar augstu spektrālo precizitāti (*RF photonic oscillators with a record spectral purity*)

4) Lāzeru stabilizācijai – WGM rezonatoru augsta Q faktora un plata optisko viļņu garumu diapazonā dēļ.

5) Astronomijā – eksoplanētu meklējumos, kur nepieciešama precīza optisko frekvenču reference

2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās

- Sagatavots saraksts ar RTU TI *free space* komponentēm;
- Izstrādāts plāns pirmajiem eksperimentiem ar:
 - X tipa sazarotājs no SMF šķiedras;
 - X tipa sazarotājs no DCF, HNLF šķiedras;
- Rezonatora izstrādei izmantot:
 - SMF;
 - DCF;
 - HNLF.
- WCOMB izstrāde – ja iespējams, tad jāturpina testi ar modeli, ko testējām priekšizpētē - veicot atbilstošos uzlabojumus

2.3. Uz WCOMB bāzes veidotas optisko sakaru sistēmas matemātiskā modelēšana

- Šīs apakšdarbības mērķis ir optisko pārraides sistēmu simulācijas programmā (OptSim, VPIphotonics, Matlab vai līdzvērtīgā) novērtēt frekvenču ķemmes ģenerators pielietojumu šķiedru optiskajā sakaru sistēmā kā daudzviļņu gaismas avotu ar dažādiem nesējsignālu modulācijas formātiem, kā piemēram, NRZ-OOK, PAM-4, Duo-binary, u.c.

Paveiktais un plānotais:

- Izstrādāts sakaru sistēmas modelis OptSim vidē. Plānots sistēmu realizēt VPIphotonics vidē;
- 2.2. aktivitātē iegūtais daudzviļņa avota spektrs tiks ielādēts simulācijas vidē un veiktas atbilstošās simulācijas;
- No simulācijas rezultātiem plānots izstrādāt Zinātnisko publikāciju.

Paldies!