

# Dujų detekcijai skirtų kvantinių kaskadinių lazerių įtaisų formavimas

## Fabrication of Quantum Cascade Laser Devices for gas-sensing application

Giedrė Čepurnaitė<sup>1</sup>, Vytautas Jakštas<sup>1</sup>, Karolis Stašys<sup>1</sup>, Jan Devenson<sup>1</sup>

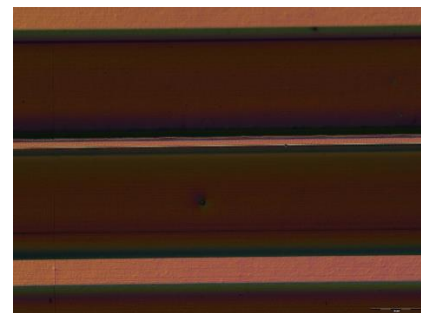
<sup>1</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257, Vilnius  
[giedre.cepurnaite@ff.stud.vu.lt](mailto:giedre.cepurnaite@ff.stud.vu.lt)

Kvantinis kaskadinis lazeris (KKL) dėl savo veikimo principo ir unikalų savybių yra vienas iš perspektyviausių koherentinės viduriniojo diapazono infraraudonosios (MIR – angl. mid-infrared) šviesos šaltinių skirtų spektroskopiniams jutikliams kurti. Šis elektromagnetinės spinduliuotės ruožas yra labai svarbus mokslui ir technologijai, nes būtent jame daugelis molekulių turi savo pagrindines rotacines – vibracines absorbcijos juostas. Potencialiausia KKL taikymo sritis yra dujų detekcija. Siaura KKL emisijos juosta ir didelis instensyvumas leidžia pasiekti didelį detekcijos jautrumą, kuris siekia dalį-per-milijardą (ppb) ir dalį-per-trilijoną (ppt). KKL yra labai kompaktiški, emisijos bangos ilgiai yra nuo ~3 μm ir gali siekti kelių dešimčių mikronų. KKL gali būti taikomi aplinkosaugoje bei medicinoje. Taip pat, šiuos lazerius galima pritaikyti pramonėje atliekant kokybės kontrolę gamybos metu. Dėl labai sparčių fotonų emisijos procesų šie lazeriai potencialiai gali būti taikomi ir duomenų perdavimui (LiFi – short for light fidelity). Šiame darbe pristatomas FTMC taikomas kvantinių kaskadinių lazerių įtaisų formavimo procesas.

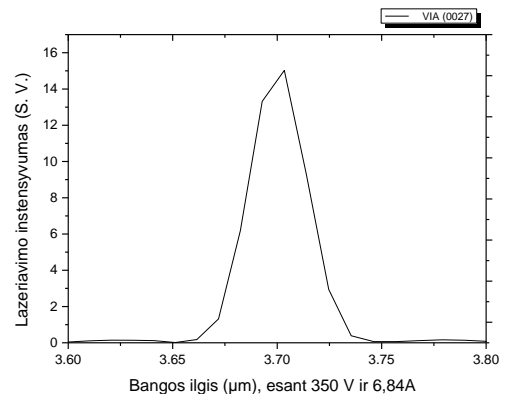
KKL gamyboje dažniausiai naudojamos III-V grupės elementai (Ga, As, In, Al, Sb, P). Iš šių medžiagų yra sudaromi trinariniai ar net keturnariai dariniai, tokie kaip InAlAsSb, tačiau parenkant medžiagų sistemas, yra būtina suderinti kristalų gardelės konstantas norint išvengti kristalinių defektų, kurie mažina KKL našumą, išauginant lazeriavimo slenkstines sroves. [1]

Kvantinių kaskadinių lazerių, kaip ir kitų puslaidininkinių lazerinių diodų formavimas prasideda nuo molekulinų pluoštelių epitaksijos (MPE) būdu užaugintos kristalinės struktūros paruošimo. FTMC naudojamoje įrangoje, MPE dažniausiai yra atliekama ant pilno arba ketvirčio 2 colių pagrindo, kurio storis gali siekti 500 μm. Pirmas žingsnis yra padėklo skaldymas, kur yra išpjauamas 2-3 cm<sup>2</sup> gabalėlis. Fotolitografijos procesas prasideda nuo fotorezisto užnešimo (nusodinimo) ant plokštelės paviršiaus. FTMC taikomo proceso metu, pirmajame etape yra naudojamas teigiamas fotorezistas. Dengiamo fotorezisto sluoksnio tolygumas ir storio kontrolė yra pasiekiami naudojant *spin-coating* technologiją (4000 aps./min). Dengiamas padėklas yra sukamas lygiai vieną minutę, 1 minutę plokštelė yra džiovinama 110 °C temperatūroje, po to vykdoma fotorezisto aktyvacija UV šviesoje (540 mJ). Tuomet plokštelė yra skalaujama dejonizuotame vandenyje ir išdžiovinama suspausto azoto srautu. Tokiu būdu paruošta plokštelė yra ęsdinama H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O (proporcijomis 3:1:3) tirpale. ęsdinimo greitis kambario temperatūroje yra 1 μm/min., o ęsdinimo laikas priklauso nuo epitaksinių sluoksnių storio. Šis etapas yra užbaigiamas nuplaunant plokštelę dejonizuotu vandeniu ir fotorezistas nuplaunamas acetone. Šiame etape UV spindulių poveikis buvo 2 s, o fotorezistas kaitinamas dvi valandas 200 °C temperatūroje, norint sudaryti dielektrinį sluoksnį. Metalinis kontaktas uždedamas vakuuminėje garinimo kameroje. Nusodinimas vyksta dvejais etapais: Cr sluoksnis nusėda ir sukimba su puslaidininkinio paviršiumi, o po to įvyksta Au nusodinimas. Paskutinis kvantinių kaskadinių lazerių gamybos

etapas yra plokštelių skaldymas, lazerio lusto montavimas ir kontaktų prijungimas. Pagaminta KKL lustas yra skaldomas į 1,5 – 4 mm atskirus lazerinius strypus. Tada lazerio ilgis, storis bei plotis yra tikrinamas ir matuojamas Nomarskio mikroskopu (1 pav.). Po to yra gaminami lazeriniai strypai ir jie yra montuojami į korpusą, kuris atlieka aušintuvo vaidmenį. Montuojant reikia storo aukso kontakto, kad būtų užtikrintas efektyvus šilumos išsklaidymas. Radiatorius buvo naudojamas varinis dėl gero elektros ir šilumos laidumo. (≈ 400 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>). Lazerinis strypelis su radiatoriumi yra prilituojamas indžio lydmetaliu sluoksniu.



1 pav. Lazerinio kristalo Nomarskio mikroskopijos vaizdas



2 pav. Lazerinio lusto VIA0027 lazerinės emisijos spektras

*Reikšminiai žodžiai: epitaksija, QCL, litografija*

### Literatūra

- [1] J. Devenson, R. Teissier, O. Cathabard, A. Baranov. InAs-based quantum-cascade lasers. February 2008 Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 6909:22-  
DOI: 10.1117/12.767653