

# Kvantinių kaskadinių lazerių aktyviosios terpės fotolitografija ir konfigūravimas

## Quantum Cascade Laser Active Zone Photolithography and Configuration

Giedrė Čepurnaitė<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@ftmc.lt](mailto:giedre.cepurnaite@ftmc.lt)

Kvantinis kaskadinis lazeris (KKL) – vienpolis prietaisas, kuriame vyksta optiniai šuoliai tik tarp laidumo lygmens pojuosčių, kurios yra suformuojamos aktyvios zonos kvantiniuose šuliniuose. KKL emisija yra vidurinėsios ir tolimesios infraraudonosios spinduliuotės spektro ruože ir net terahercų diapazone. Potencialiausias KKL taikymas yra aplinkos analizėje. Dauguma cheminių medžiagų turi savo optines žymes šiuose regionuose (2,5 μm – 25 μm) (MIR, angl. *Mid - infrared*), kur yra šių molekulių fundamentinių rotacinės – vibracinės sugerties juostos [1].

Gaminant KKL yra naudojama III – V grupės elementai (Ga, In, Al, As, Sb, Bi) iš kurių yra sudaromi trinariai ar net keturnariai dariniai. Formuojant KKL, svarbu yra suderinti kristalinės gardelės konstantas, nes tai leidžia sumažinti kristalinių defektų. Didelis defektų tankis, lemia aukštą slenkstines sroves, dėl kurių lazerio našumas blogėja [2].

KKL formavimas prasideda nuo molekulių pluoštelių epitaksijos (MPE) būdu užaugintos kristalinės struktūros. MPE dažniausiai atliekamas ant n – tipo InAs pagrindo, kurio storis siekia 350-500 μm. Šiame tyrime auginama medžiaga – InAs/AlSb. Turint užaugintą plokštelę, sekantis žingsnis yra jo skaldymas. Skraibavimo būdu InAs plokštelė yra padalinama į 2 – 3 cm<sup>2</sup> bandinius.

Fotolitografijos procesas prasideda nuo riebalų ir dulkių nuvalymo nuo bandinio. Tam yra naudojamas acetonas C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O ir izopropanolis C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O bei nusausinimui naudojamas suspaustas azotas N<sub>2</sub>. Bandinys yra iškaitinamas, jog išgaruotų drėgmė, o tai padeda pagerinti fotolitografijos procesą ir sumažina defektų tikimybę. Ant bandinio yra užlašinama TiPrime (sukibimą gerinanti medžiaga) bei centrifūgoje bandinys yra išsukamas sukamuojamu metodu (angl. *spin - coating*), bandinys dedamas iškaitinimui.

Bandinys paruoštas ekspozicijai yra užliejamas fotorezistu AZ1518 ir išsukamas centrifūgoje. Fotorezisto eksponavimas per kaukę yra atliekamas naudojant UV šviesą.

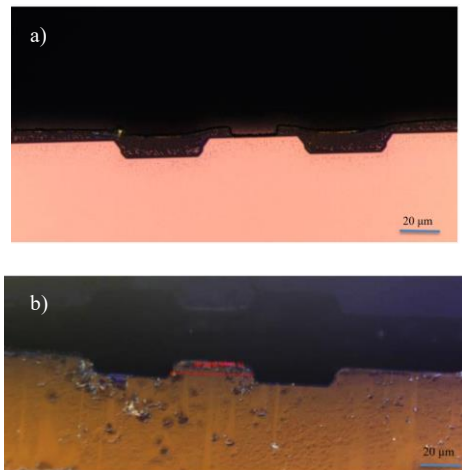
Atlikus ekspoziciją, plokštelė yra paruošta ryškinimui. Fotorezisto ryšiklis AZ351B:H<sub>2</sub>O = 1:4. Paskutinis etapas prieš ėsdinimą – užkietinimas (angl. *hardbake*). KKL keteros formavimui yra naudojama 3H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:3H<sub>2</sub>O:1H<sub>2</sub>O – 28 ml ir 50% citrinės rūgštis – 8 ml.

Dielektrinis sluoksnis formuojamas dviem būdais: PECVD metodu nusodinant SiN arba termiškai sukietinant fotorezistą. PECVD būdų yra auginamas SiH<sub>4</sub> dielektrikas, naudojant Ar kaip nešančiąsias dujas. Dielektriko sluoksnio formavimas iš sukietinto fotorezisto yra atliekamas ant bandinio viršaus užlašinant fotorezisto Ti35E, išcentrifūguojamas ir kaitinamas

300°C temperatūroje. Fotorezisto eksponavimas per kaukę yra atliekamas naudojant plačiąjuostę UV šviesą. Ryškinimui naudojamas ryšiklis – AZ351B:H<sub>2</sub>O=1:4.

Fotolitografijoje skirtai viršutinei metalizacijai yra naudojama fotorezistas AZ5214, bandinys iškaitinamas bei vyksta eksponavimas su UV šviesa bei eksponavimas AZ351B:H<sub>2</sub>O=1:4.

Pav. 1 matome, kad naudojant sukietintą fotorezistą, jo sluoksnis būna gerokai storesnis ir mažiau tolygus, skirtingai nei naudojant kristalinį dielektriką. Sukietintas fotorezistas gali būti naudojamas, kaip dielektrikas esant greitam KKL testavimui, nes technologinis procesas yra greitesnis ir pasiekiamos palyginamos slenkstinės srovės, kaip ir kristalinio dielektriko atveju.



1 pav. Dielektriko sluoksniai: a) sukietintas fotorezistas, b) PECVD metodu, nusodintas SiN<sub>x</sub>.

*Reikšmingi žodžiai: KKL, fotolitografija, fotorezistas, dielektriko sluoksnis.*

[1] <https://www.icc.dur.ac.uk/~tt/Lectures/Galaxies/Images/Infrared/Regions/irregions.html> (tikrinta 2023-08-10);

[2] J. Devenson, InAs/AlSb SHORT WAVELENGTH QUANTUM CASCADE LASERS, 2010;