

# Tridimensinių optinių metastruktūrų realizavimas naudojant femtosekundinę lazerinę litografiją

## Realization of three-dimensional optical metastructures using femtosecond laser lithography

Vygantas Mizeikis

Resarch Institute of Electronics Shizuoka University, 3-5-1 Johoku Naka-ku Hamamatsu 432-8011 Japan  
mizeikis.vygantas@shizuoka.ac.jp

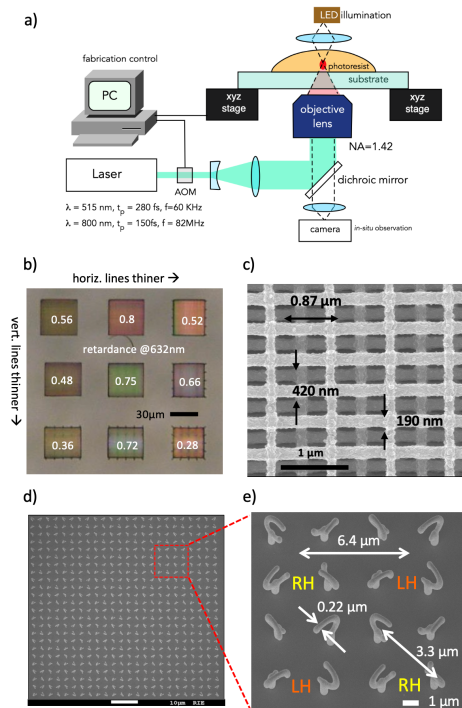
Medžiagų optines savybes galima keisti ir netgi sukurti naujas neįprastas savybes kurių neturi gamtoje randamos medžiagos naudojant optines metastruktūras, susidedančias iš periodiškai ar atsitiktinai erdvėje išdėstytų struktūrinių elementų mažesnių nei naudojamas elektromagnetinės bangos ilgis. Tokiose struktūrose sklindančių šviesos bangų amplitudę ir fazę nulemia daugkartiniai atspindžiai ir rezonansinės sąveikos tarp struktūrinių elementų, o ne jas sudarančių medžiagų pamatinės optinės savybės. Metastruktūros įgalina kontroliuoti šviesos bangų spinduliavimą, sklidimą, sugertį, poliarizaciją ir kitus procesus ar savybes naudojant labai mažo dydžio dirbtinius darinius, kurie ateityje gali būti pritaikyti kuriant optines integruotas grandines[1].

Egzistuoja daug optinių metastruktūrų tipų, pradedant paprasčiausiomis 1D ar 2D difrakcinėmis gardelėmis, baigiant sudėtingais 3D dariniais. Pastaraisiais dešimtmečiais buvo pasiūlyta daug teorinių metastruktūrų modelių ir jų naujų galimų optinių funkcijų, bet tik nedidelė dalis yra įgyvendinta praktiškai. Pagrindinė kliūtis yra sunkumai gaminant tokias struktūras. Netgi jei jų elementai teoriškai turi 1D ar 2D geometriją, realizuoti jie privalo būti kaip 3D elementai, o jų dydis turi būti žymiai mažesnis už bangos ilgį (0.4-0.8 $\mu\text{m}$  matomai šviesai, iki kelių  $\mu\text{m}$  infraraudonai spinduliuotei). Šiuo metu nėra universalaus metodo įgalinančio tokių 3D struktūrų gamybą užtikrinant aukštą fabrikacijos skiriamąją gebą, kas riboja galimybes praktiškai patikrinti jų funkcionalumą ir taikymus.

Šiame pranešime bus pristatyti femtosekundinės (fs) lazerinės litografijos (LL) metodo[2] taikymai funkcionalių optinių metastruktūrų gamybai. Šis metodas naudoja stipriai fokusuoto fs lazerio spindulio erdvinį 3D skenavimą pradinės medžiagos, dažniausiai fotorezisto, tūryje (1 pav. (a)), ir leidžia palyginus nesunkiai pagaminti įvairias nano- ir mikro-struktūras. Fotoniniai kristalai yra periodinės dielektrinės struktūros kurių paruošimas naudojant įprastinę planarinę litografiją yra sudėtingas ir daug laiko reikalaujantis procesas, ypač 3D atveju. Pav. 1(b) vaizduoja keletą 3D fotoninių kristalų pagamintų LL metodu ir demonstruoja kai kurias jų neįprastas optines savybes: struktūrinę spalvą kuri kinta priklausomai nuo kristalo gardelės periodo ir užpildymo dielektriku laipsnio, ir dvejetainį lūžio rodiklį atsirandantį dėl specialiai sukurtos struktūrinės anizotropijos (skaičiai virš struktūrų rodo jų kuriamą fazių skirtumą išreikštą bangos ilgiais). Viena iš kristalų detalus vaizdas iliustruojantis gamybos kokybę, tipiškus fotoninių kristalų gardelės parametrus ir jos anizotropiją yra

parodytas 1 pav. (c). Kitas LL metodo taikymo pavyzdys pateiktas 1 pav. (d,e) yra metalo-dielektrinis metapaviršius susidedantis iš periodiškai išdėstytų vienos vijos 3D spiralinių elementų ir leidžiantis pasiekti beveik tobulą 100% sugertį infra-raudoname bangų diapazone[3]. Ateityje tikimasi pritaikyti panašius metapaviršius šilumos spinduliuotės kontroliavimui.

Pranešime bus pateikta daugiau detalių apie šias ir kitas metastruktūras, jų pagrindinius fizikinius principus, optines savybes, o taip pat privalumus ir trūkumus.



1 pav. (a) Lazerinės litografijos metodo praktinis įgyvendinimas, (b) 3D fotoninių kristalų matricos optinis atvaizdas, (c) vieno iš pavyzdžių parodyto (b) fragmento detalus vaizdas, (d,e) pagaminto spiralinio metapaviršiaus atvaizdai.

*Reikšminiai žodžiai: lazerinė litografija, 3D mikrofabrikacija, fotoniniai kristalai, optiniai metapaviršiai.*

### Literatūra

- [1] *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*, N. Engheta and R.W. Ziolkowski, eds. (John Wiley & Sons, 2006).
- [2] M. Malinauskas, et al., *Light-Science& Appl.* **5**, e16133 (2016).
- [3] I. Faniayev, V. Mizeikis, *Opt. Mater. Express* **7**, 1453–1462 (2017).
- [2] P.M. Boersenberger, D.S. Weiss, *Organic Photoreceptors for Imaging Systems* (New York, Basel, Hong Kong, 1993).