

Kūginės trečiosios harmonikos generacija dėl didelio pasikartojimo dažnio femtosekundiniais lazerio impulsais indukuotų tūrinių nanogardelių skaidriuose dielektrikuose

Conical third harmonic generation due to femtosecond laser induced volume nanogratings in transparent optical materials during filamentation at high repetition rates

Robertas Grigutis¹, Vytautas Jukna¹, Marius Navickas¹, Gintaras Tamošauskas¹, Kęstutis Staliūnas^{1,2}, Audrius Dubietis¹

¹Lazerinių tyrimų centras, Vilniaus universitetas, Saulėtekio al. 10, LT-10223 Vilnius, Lietuva

²Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA), Passeig de Lluís Companys, 23, 08010, Barcelona, Catalonia, Spain

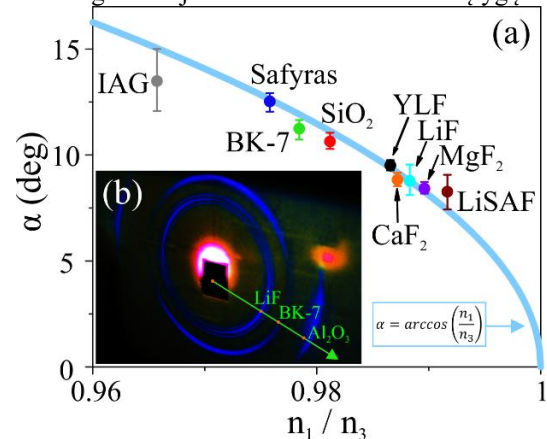
robertas.grigutis@ff.vu.lt

Lazeriu indukuotos periodinės paviršinės struktūros (angl. LIPSS) gali būti formuojamos ant įvairiausių medžiagų: metalų, puslaidininkių, dielektrikų [1]. Šie dariniai randa platų pritaikymą tokiose srityse, kaip plazmonika, fotonika, mikrofluidika ir medicina. LIPSS pagal savo erdvinį periodiškumą ir gardelės orientaciją gali būti skirstomos į tris tipus: aukšto erdvinio dažnio (angl. HSFL), žemo erdvinio dažnio (angl. LSFL) bei periodines paviršines žiedines struktūras (angl. LIPASS). Taip pat, esant aštriom fokusavimo sąlygoms ultratrumpaisiais lazerio impulsais buvo stebimas periodinių nanogardelių formavimasis skaidrių dielektrinių medžiagų tūryje [2]. Šių tūrinių nanogardelių formavimosi fizikinis mechanizmas yra artimas HSFL [3]. LIPSS susidaro ir femtosekundinių šviesos gijų ir superkontinuumo (SC) generacijos metu. Neseniai atlikti tyrimai pademonstravo kūginės trečiosios harmonikos (TH) generacijos reiškinį dėl skaidrių medžiagų tūryje indukuojamos optinės pažaidimo ir nustatyta, jog TH spinduliuotės atsiradimo laikas koreliuoja su SC spektro siaurėjimo pradžia [4].

Šiame pranešime yra pristatomi ultraspartaus lazerio impulsais indukuotų periodinių paviršinių struktūrų morfologijų ir erdvinio periodų evoliucijos tyrimų rezultatai, nagrinėjant kūginės TH generacijos reiškinį įvairiuose skaidriuose dielektrikuose: IAG, safyre, YLF, LiF, MgF₂, CaF₂, LiSAF, SiO₂ bei BK-7 stikle, vykstant femtosekundinių šviesos gijų formavimuisi. Atliekant eksperimentus iš femtosekundinio Yb:KGV lazerio (Pharos, Light Conversion) išėjusi tiesiškai poliarizuota 1035 nm centrinio bangos ilgio ir 180 fs impulso trukmės spinduliuotė, kurios maksimalus impulsų pasikartojimo dažnis 200 kHz, buvo panaudojama LIPSS formavimui, fokusuojant lazerio pluoštą į priekinį bandinių paviršių. LIPSS morfologijų nuotraukos buvo gautos naudojant skenuojantį elektroninį mikroskopą (angl. SEM). Dvimatė Furjė transformacija (2D-FT) buvo atlikta norint įvertinti LIPSS erdvinio periodų spektrus.

Atlikus LIPSS morfologijų ir periodiškumą matavimus visose tirtose medžiagose, nustatyta, jog didinant lazerio impulsų skaičių, yra stebimas universalus perėjimas nuo HSFL iki LSFL ir galiausiai iki LIPASS struktūrų. Taip pat, buvo eksperimentiškai nustatyti TH sklidimo kampai medžiagų viduje, kurie yra pavaizduoti 1(a) pav. Rezultatai rodo, kad kūginė TH generacija vyksta kaip nekolinearus keturbangis dažnių maišymo procesas, kur TH kūgio kampą 1(b) pav.)

užduoda išilginis fazinis sinchronizmas, nulemtas medžiagos dispersijos, kai tuo tarpu skersinio fazinio sinchronizmo sąlyga yra išpildoma pasitelkus atitinkamo ilgio tūrinės nanogardelės vektorius. Taigi, šiame darbe yra demonstruojama, jog formuojantis šviesos gijoms, didelio pasikartojimo dažnio femtosekundiniai impulsai skaidrios netiesinės medžiagos tūryje indukuoja nanogardelę, turinčią platų erdvinio periodų spektrą ir atitinkamo ilgio gardelės vektorius, reikalingus tenkinti kūginės TH generacijos fazinio sinchronizmo sąlygą.



1 pav. (a) Eksperimentiškai nustatyti kūginės TH sklidimo kampai įvairiose medžiagose. (b) Kūginė TH ir SC generacija LiF, BK-7 ir safyre.

Reikšminiai žodžiai: superkontinuumo generacija, trečiosios harmonikos generacija.

Literatūra

- [1] J. Bonse, J. Krüger, S. Höhm, and A. Rosenfeld, "Femtosecond laser induced periodic surface structures", *J. Laser Appl.* **24**, 042006 (2012).
- [2] R. Buividas, M. Mikutis, and S. Juodkakis, "Surface and bulk structuring of materials by ripples with long and short laser pulses: Recent advances", *Prog. Quantum Electron.* **38**, 119–156 (2014).
- [3] A. Rudenko, J.-P. Colombier, S. Höhm, A. Rosenfeld, J. Krüger, J. Bonse, and T. E. Itina, "Spontaneous periodic ordering on the surface and in the bulk of dielectrics irradiated by ultrafast laser: a shared electromagnetic origin", *Sci. Rep.* **7**, 12306 (2017).
- [4] R. Grigutis, G. Tamošauskas, V. Jukna, A. Risos, and A. Dubietis, "Supercontinuum generation and optical damage of sapphire and YAG at high repetition rates", *Opt. Lett.* **45**, 4507–4510 (2020).