

Dielektrinių lazerinių greitintuvų modeliavimas pasirinktiems parametrams

Modeling dielectric laser accelerators for chosen parameters

Janina Grinevičiūtė¹, Artūras Plukis¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius
janina.grineviciute@ftmc.lt

Tiesiniuose greitintuvuose pasiekiamas maksimalus greitinimo gradientas gali būti iki 100 MeV/m. Dielektrinių lazerinių greitintuvų idėja yra itin patraukli dėl potencialaus GV/m greitinimo gradiento ir mažo greitintuvo dydžio. Eksperimentuose maksimalūs pasiekti gradientai buvo 370 MeV/m nereliatyvistiniams elektronams [1] ir 1.8 GV/m reliatyvistiniams elektronams [2].

Aukštos įtampos elektronas judėdamas metalinės gardelės paviršiumi sukelia spinduliavimą jei tenkinama sinchroniškumo sąlyga tarp bangos ir elektrono (Smith-Purcell efektas). Atvirkštinis efektas yra pasiekiamas, kai tenkinama ta pati sąlyga tarp elektronų ir krintančios bangos. Elektromagnetinė banga, kurios dažnis $f = c/\lambda$, sužadina erdvinę harmonikas, kurios sklinda gardelių paviršiumi $v_{ph} = f\lambda_p/n$ greičiu. Čia λ_p yra gardelės periodas ir n yra harmonikos skaičius. n -toji harmonika yra sinchroniška su elektronais, kurių greitis yra $v_e = \beta c = v_{ph}$, taigi sinchroniškumo sąlyga yra $\lambda_p = \lambda\beta n$. Nereliatyvistiniams elektronams, atsižvelgiant į elektronų greičio padidėjimą, gardelės periodas turėtų būti atitinkamai koreguojamas.

Priklausomai nuo elektrono padėties/fazės lauko atžvilgiu, elektronas gali būti greitinamas, lėtinamas arba keisti kryptį. Asinchroninių bangų poveikis elektronams per laiką susividurkina į nulį.

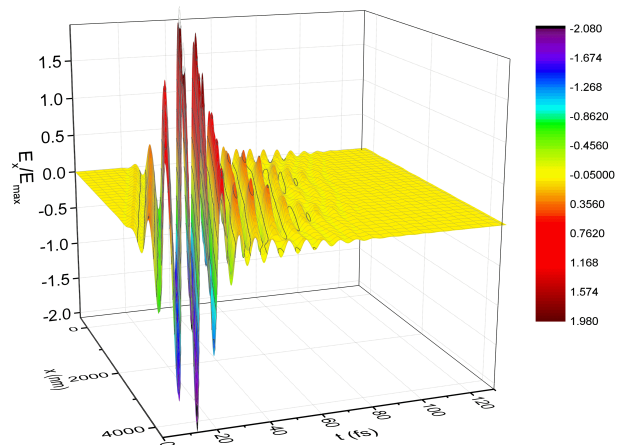
Kai gardelė yra vienušė, nereliatyvistinis elektronas yra greitinamas tik atvirkštinio Smith-Purcell efekto dėka, tačiau, kai gardelė yra dvipusė, elektrono greitinimas yra didesnis dėl konstruktyvios bangų interferencijos. Norint sumažinti elektronų nuokrypį vakuume kanale, naudojamas simetriškas apšvietimas lazeriu arba Bragg reflektoriai.

Šio darbo tikslas yra ištirti elektronų greitinimo priklausomybę nuo įvairių gardelės struktūros parametrų. Modeliavime pasirinkti dielektrikai yra silicis ir silicio dioksidas. Skaičiavimuose krintančios plokščios bangos ilgis yra 2000 nm. Gardelės periodas 880 nm yra parinktas 50 keV elektronui ($\beta = 0.44$, $v = 1.32 \cdot 10^8$ m/s), kad atitektų sinchroniškumo sąlyga. Dvipusė gardelė yra apšviečiama simetriškai. Sąveikos atstumas yra 4.84 μm .

Maksvelo lygtys sprendžiamos baigtinių skirtumų laiko skalėje (FDTD) metodu. Maksimalus greitinimo

gradientas yra vidutinis išilginis elektrinis laukas, kuris veikia vieną elektroną vieną gardelės struktūros periodą.

Preliminarūs rezultatai rodo maksimalų greitinimo gradientą $0.17 \cdot E_{\text{max}}$ kvarco gardelės struktūroje ir $0.42 \cdot E_{\text{max}}$ silikono gardelės struktūroje. Abiems dielektrikams greitinimo gradientas yra didesnis, jei elektronų vakuume kanalas yra mažesnis. Kvarco atveju maksimalus gradientas pasiekiamas, kai gardelės storis yra lygus tarpui tarp gardelių, t. y. $0.5\lambda_p = 440$ nm, o silikono atveju, kai gardelės storis išilgine kryptimi yra 500 nm, o tarpas tarp gardelių yra 380 nm. Išilginis elektrinis laukas kvarco atveju yra parodytas Pav. 1.



1 pav. Išilginis elektrinis laukas E_x/E_{max} kvarco gardelės struktūroje, matomas 50 keV elektrono.

Reikšminiai žodžiai: dielektrinis lazerinis greitintuvas, nereliatyvistiniai elektronai.

Literatūra

- [1] Kenneth J. Leedle, Andrew Ceballos, Huiyang Deng, Olav Solgaard, R. Fabian Pease, Robert L. Byer, and James S. Harris, Opt. Lett. 40, 4344-4347 (2015)
- [2] Cesar, D., Custodio, S., Maxson, J. et al. Commun Phys 1, 46 (2018).