

Raport stiintific

privind implementarea proiectului in perioada ianuarie – decembrie 2014

Obiectivele proiectului si activitatile prevazute in anul 2014

Objective #2: Tailoring the THz radiation (pulseshape, spectral content, polarizarion) produced by laser filamentation and multifilamentation.

A8. Tailoring the polarization and spectral content of THz radiation through the multifilamentation characteristics

CUPRINS

1. INTRODUCERE

2. MONTAJUL EXPERIMENTAL PENTRU GENERAREA THz PRIN MULTI-FILAMENTARE, EXPERIMENTE EFECTUATE

3. CONCLUZII

4. REFERINTE

INTRODUCERE

Emisia pulsurilor THz ultraintense a devenit un domeniu foarte atractiv pentru cercetare deoarece exista o multitudine de potentiale aplicatii ale acestora. De mare interes sunt aplicatiile medicale si biologice, spectroscopie THz de banda larga, spectroscopia nelinara a solidelor, imagistica THz bazata pe iluminarea cu un singur puls THz, etc.

Recent s-a demonstrat ca: (i) filamentele generate prin metoda „doua culori” imbunatatesc semnificativ emisia radiatiei THz; (ii) optimizarea polarizarii si perioadei pulsurilor optice conduce la o crestere a intensitatii pulsurilor THz de pana la 10 ori; (iii) generarea la distanta a filamentului care produce pulsuri THz ca si detectia de la distanta s-au dovedit a fi metode care deschid drumuri noi in aplicatiile THz din securitate si stiinta.

Radiatia THz generata de antenele foroconductoare, rectificarea optica, plasma foto-indusa in medii gazoase este de regula de forma unui puls cu un singur ciclu cu o perioada de repetitie de 10^{-8} s pana la 10^{-1} s, depinzand de rata de repetitie a laserului. Exista totusi aplicatii specifice unde este nevoie de pulsuri THz a caror forma si perioada nu este cea uzuala. De exemplu pulsuri THz multiple (trenuri de pulsuri) cu perioade variabile de la picosecunde la sute de picosecunde sunt de dorit in spectroscopia nelinara a semiconductorilor, in modificarea controlata a proteinelor. In plus acestea trebuie sa aiba energie suficient de mare pentru a excita cristale nelinere sau pentru a modifica conformational moleculele. Cercetarile de pana acum au pus in evidenta emisia THz din bifilamente si emisia coerenta a radiatiei THz din siruri de filamente. Pana acum au fost raportate asemenea pulsuri numai in cristale nelinere prin rectificare optica si in filamente „monocolore”.

Experimentele noastre au urmarit realizarea unei surse THz cu pulsuri multiple, cu o separare temporala variabila controlata a pulsurilor si cu un bun control al energiei fiecarui puls. Trenurile de pulsuri au fost obtinute cu rata de repetitie de 10Hz, fiecare tren de pulsuri avand o substructura de 2-5 pulsuri THz cu o separare variabila in domeniul 1-100 picosecunde. Au fost folosite doua metode de generare a pulsurilor multiple prin filamentare multipla: A-metoda divizarii spectrale; B- metoda divizarii energetice.

Montajul experimental

Prima metoda de generare a pulsurilor optice multiple consta in divizarea spectrala a pulsului optic originar. Acest lucru se face introducand intr-un laser, care foloseste metoda de amplificare CPA (chirp pulse amplification), a unui dispozitiv optic care modifica etajul de alungire

temporala a pulsului optic. Asa cum se vede din figura 1 pulsul laser care are o largime spectrala de 40 nm si a fost trecut printr-un stretcher este divizat in doua parti si un interval temporal este adaugat intre cele doua parti cu posibilitatea de a modifica pozitia spectrala si durata de separare a pulsurilor.

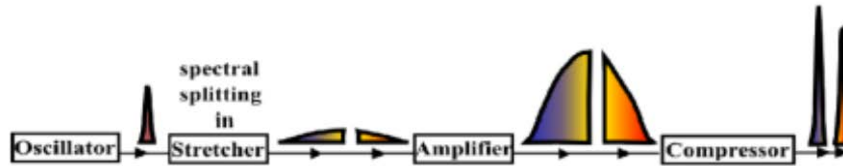


Fig. 1. Pulsuri multiple generate intr-un sistem laser CPA.

Separarea spectrala este facuta prin insertia partiala a unei oglinzi in domeniul spectral al pulsului, partea reflectata parcurge un drum optic cu o lungime controlata de o linie de intarziere pe care este montata oglinda de tip "roof", dupa care urmeaza acelasi drum optic ca si partea nerefectata a pulsului.

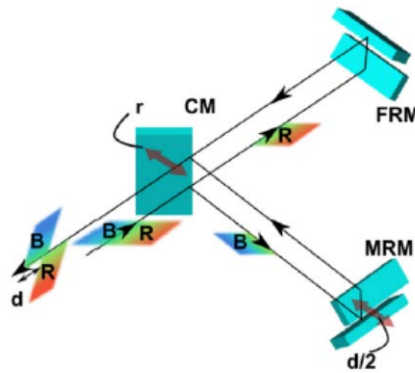


Fig. 2. Schita stretcherului modificat: BR-spectrul pulsului laser distribuit spatial; B-partea albastra a spectrului; R-partea rosie a spectrului; CM oglinda de separatie.

In figura 2 sunt prezentate elemente principale ale acestei tehnici: pulsul laser BR intra in montaj avand frecventele de la rosu la albastru distribuite spatial, o oglinda CM este inserata in calea pulsului optic reflectand o parte din componentele sale spectrale catre oglinda mobila MRM care reflecta pulsul albastru B pe aceeasi directie, dar la o inaltime diferita. Partea "rosie" a pulsului este reflectata de o oglinda tip "roof" fixa ceea ce asigura acelasi plan de propagare si aceeasi directie pentru cele doua parti R+B ale pulsului optic initial. Sistemul laser folosit, Ti:safir, 10 Hz rata de repetitie, 50 fs durata pulsului, permite inserarea elementelor din fig. 2 dupa stretcher. Dupa trecerea prin compresor pulsul laser avand un diametru de 18 mm este redus la 9 mm si este introdus in montajul optic care produce THz prin filamentare, fig. 3. Un ansamblu format din polarizor si lama semiunda divide pulsurile laser in doua parti. O parte din energia pulsului laser este folosita pentru generarea radiatiei THz prin filamentare in aer iar partea a doua (de obicei cu energie mult mai mica) este folosita pentru detectia formei pulsului

prin metoda detectiei electrooptice. Primul brat al montajului experimental produce filamentarea in aer prin focalizarea pulsului laser folosind o lentila acromat cu distanta focala de 150 mm.

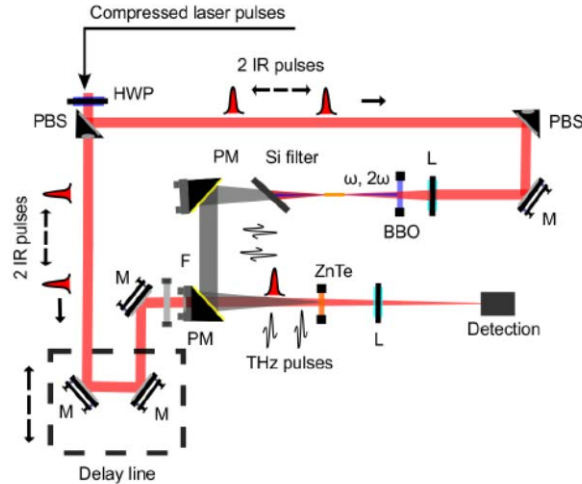


Figura 3. Schita montajului experimental, metoda separarii spectrale: M-oglinzi dielectrice, HWP- lama semiunda; PBS divizor de fascicol sensibil la polarizare; PM-oglinza parabolica; F-filtru trece banda; BBO cristal nelinear (beta barium borate); L-lentila de focalizare; Si-filtru de siliciu; ZnTe-cristal de zinc telurii

Armonica a doua a pulsului laser este obtinuta prin plasarea la 60 mm de lentila a unui cristal nelinear BBO (β -barium borate) cu o grosime de 100 μm .

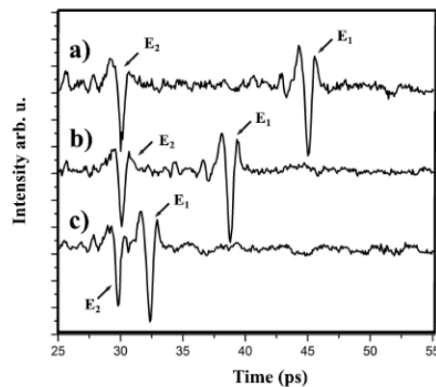


Fig. 4. Formele de unda THz pentru diferite intarzaieri, metoda separarii spectrale.

S-a demonstrat ca pentru anumite diferente de faza dintre unda fundamentala si armonica a doua plasma de densitate scazuta din filament este supusa actiunii unui camp electromagnetic intens, asimetric, care imbunatateste de peste 10 ori eficienta emisiei THz, comparativ cu montajul experimental care foloseste numai unda fundamentala. Pulsul THz este separat de

pulsul laser folosind un filtru de siliciu pozitionat la 200 mm dupa lentila. Radiatia THz emisa de catre filament este colimata folosind o oglinda parabolica de 90° , $f=4''$.

Pulsul laser folosit la determinarea formei undei THz este trimis prin al doilea brat al montajului experimental, brat care contine o linie de intarziere cu 0.01 ps rezolutie. Pulsul THz si pulsul de proba sunt suprapuse pe acelasi drum optic cu ajutorul unei oglinzi parabolice 90° , $f=4''$ modificate pentru a permite trecerea pulsului optic prin oglinda. Forma undei THz este inregistrata folosind un cristal de ZnTe si un detector electrooptic autoechilibrat (ABL-100). Deoarece scopul primar al acestui experiment este sa demonstreze generarea pulsurilor THz multiple, cu perioada controlabila si cu energie variabila fara a pune accent pe banda de frecventa, am utilizat in schema de detectie un cristal de ZnTe cu grosimea de 1 mm care ofera sensibilitate buna in banda 0.1-5 THz. Alte masuratori au aratat ca prin filamentarea in doua culori se genereaza radiatie THz cu un spectru cuprins intre 0.1 si 100 THz. Energia pulsului THz a fost masurata folosind un detector piroelectric THz5B-MT GENTEC plasat in planul focal al celei de-a doua oglinzi parabolice. Pentru filamente generate cu pulsuri laser de pana la 5 mJ s-au masurat pulsuri THz cu energie de 0.3 μ J.

Deoarece fiecare puls optic livrat de laser la frecventa 10 MHz este separat in doua subpulsuri se produc prin focalizare doua filamente colineare fiecare generand un puls THz. Cele doua pulsuri THz sunt separate in timp cu aceeasi perioada care separa pulsurile laser. Pulsul de proba este de asemenea divizat in doua subpulsuri insa este nevoie de un singur puls pentru a obtine forma corecta a radiatiei THz. Prin urmare unul dintre subpulsuri este eliminat folosind un filtru trece banda CWL800FWHM:10 nm plasat in calea fascicolului de proba ca in fig. 3.

Raportul energiilor celor doua subpulsuri poate fi ajustat de la 10/90 la 50/50. Figura 4 arata campul THz emis de cele doua filamente produse in configuratie lineara atunci cand pulsul laser cu energia initiala de 3.5 mJ este divizat 40% primul subpuls 60% al doilea subpuls iar diferenta temporala intre subpulsuri este de 15 ps, 10 ps si 2.5 ps. S-a observat ca prin modificarea raportului energiilor subpulsurilor se obtin diferite rapoarte ale energiilor subpulsurilor THz.

Deoarece filamentele consecutive sunt strict colineare, aceasta metoda este potrivita pentru studiul interactiei dintre plasma obtinuta prin filamentare si campul de radiatie THz obtinuta prin a doua filamentare. Primul puls THz este emis de catre un filament format intr-un mediu cu proprietati locale neafectate in timp ce, al doilea puls THz este emis de un filament format intr-un mediu cu proprietati perturbate deoarece foloseste acelasi volum de gaz pentru filamentare iar perioada dintre pulsuri nu este suficient de lunga pentru a permite o relaxare completa a ionizarii produse de primul filament. Timpul necesar relaxarii complete a mediului ionizant dupa filamentarea cu un puls laser cu durata zecilor de femtosecunde este estimat ca fiind de ordinul zecilor de nanosecunde; prin urmare, la o separatie temporala a filamentelor, chiar de sute de picosecunde, mediul de productie si propagare a radiatiei THz prezinta un comportament special.

A doua metoda de obtinere a mai multor subpulsuri optice dintr-un singur puls laser este bazata pe folosirea unui ansamblu format de o lama jumătate de unda, si un divizor de fascicul tip film subtire (TFBS), sensibil la starea de polarizare, plasat in fata unei oglinzi cu reflexie totala la 45° , fig. 6a. In acest fel sunt produse cateva pulsuri a caror intensitate este descrecatoare.

In figura 6 se pot observa pulsul de proba (spotul cel mai larg) si pulsurile multiple produse cu TFBS plus oglinda.

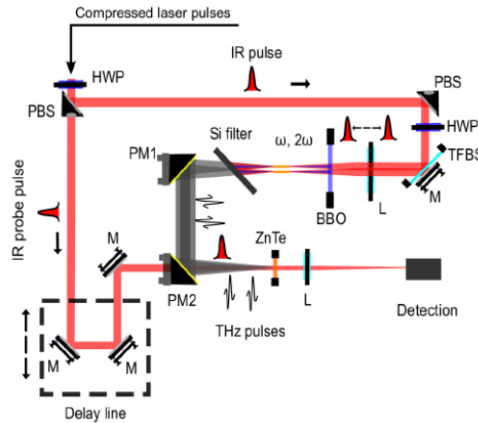


Figura 5. Schita montajului experimental, metoda TFBS. M-oglinzi dielectrice, HWP-lama semiunda, PBS-divizor de fascicol sensibil la polarizare, PM-parabolic mirror, TFBS-film subtire divizor de fascicol, BBO cristal nelinear (beta barium borate); L-lentila de focalizare; Si-filtru de siliciu; ZnTe-cristal de zinc teluriu

Distanta dintre filament poate fi reglata prin inclinarea TFBS iar energia fiecarui puls optic care produce filamentarea poate fi calculata luand in considerare energia pulsului optic inainte de TFBS si energia reflectata de TFBS.

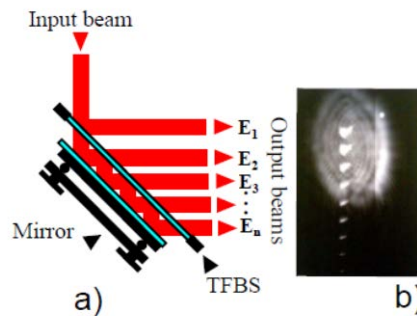


Figura 6. a) ansamblul oglinda si divizor de fascicol; b) imaginea in planul cristalului de ZnTe a pulsurilor laser multiple pe CCD camera

Generarea pulsurilor THz depinde de energia introdusa in fiecare filament. Energia fiecarui puls (E_1, E_2, \dots, E_n) poate fi calculata cu formula :

$$E_1 = E_T * R$$

$$E_n = E_T * (1-R)^2 * R^{n-2}, n \geq 2$$

unde E_T este energia pulsului laser inainte de TFBS iar R este coeficientul de reflexie corespunzator polarizarii pulsului optic si inclinarii TFBS. Prin rotirea lamei semiunda se controleaza polarizarea pulsului laser rezultand o reflectivitate variabila a acestui ansamblu cu $R=10\div 40\%$.

Montajul experimental este prezentat in figura 5. Pulsurile laser asa cum ies din compresor sunt divizate pentru a se propaga prin doua brate la fel ca in montajul experimental precedent. TFBS plus oglinda HR dielectrica sunt plasate in drumul optic inainte de lentila de focalizare L .

Prin urmare se vor produce filamente consecutive pozitionate paralel unul cu celalalt la o distanta de sute de micrometri.

Formele de unda ale radiatiei THz pentru diferite valori ale energiei totale sunt prezentate in fig.7. Energia fiecarui puls a fost calculata folosind ecuatiile 1 si 2. Se observa ca pe masura ce energia totala creste, creste numarul de pulsuri THz observate. Energia totala emisa de filamentele multiple a fost masurata si comparata cu energia THz generata de un singur filament, fig.8. Pentru un singur filament am observat ca energia de prag pentru a genera THz este in jur de 0.24 mJ si se observa o saturatie a emisiei THz in jurul a 1.6 mJ. Saturarea generarii THz este corelata cu conditiile de obtinere a filamentului. Geometria de focalizare in experimentul nostru este data de lentila L , acromat ($f=150$ mm), iar faptul ca eficienta de generare a radiatiei THz este redusa este corelat cu cuplajul slab dintre pulsul laser si plasma. Rezultatele prezentate in figura 8 arata ca peste o anumita valoare de pompaj energia THz livrata prin metoda pulsurilor multiple excede energia livrata de un singur filament, pentru aceeasi energie totala a pulsului laser.

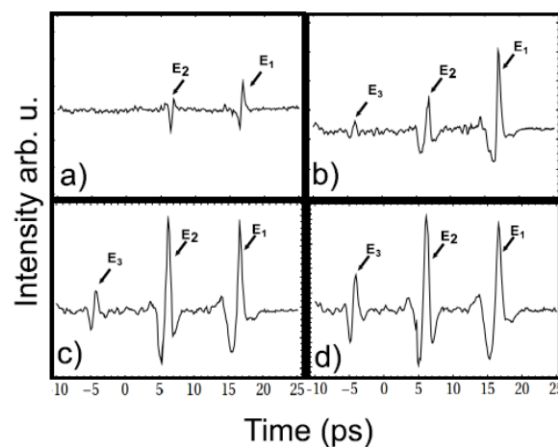


Fig. 7. Formele de unda obtinute pentru diferite valori ale energiei pulsului optic de pompaj: a) $E_T=1$ mJ, b) $E_T=1.7$ mJ, c) $E_T=2.85$ mJ, d) $E_T=4$ mJ.

CONCLUZII

Au fost generate, pentru prima data in lume, prin metoda “doua culori”, pulsuri THz multiple consecutive, cu energie mare, cu intarziere controlabila, in domeniul zero-sute de picosecunde. Pentru divizarea pulsurilor laser ultrascurte in subpulsuri care au energie si intarziere controlabile am folosit doua metode: divizarea spectrala si divizarea spatiaala. Ambele metode permit atat controlul energiei subpulsului cat si controlul perioadei dintre pulsuri. Divizarea spectrala permite crearea de filamente colineare permitand studiul influentei primului filament asupra eficientei de generare THz a celui de-al doilea filament. Divizarea spatiaala permite obtinerea de filamente paralele depasindu-se fenomenul de saturatie prezent in emisia THz monofilamentara. Pulsurile THz de energie mare intr-o secventa care acopera domeniul zecilor de picosecunde sunt interesante pentru multe aplicatii precum genetica, medicina, post-accelerarea protonilor obtinuti prin accelerarea in campuri optice ultraintense.

Rezultatele obtinute au fost trimise spre publicare in prestigioasa revista Laser Physics Letters si au fost comunicate in cadrul a 4 conferinte internationale.

Obiectivul #2 este indeplinit integral. Activitatea A8 este indeplinita integral.

Director proiect,

Traian Dascalu 