

Raport stiintific

perioada octombrie – decembrie 2011

Pulsuri TeraHertzi ultraintense obtinute in plasma generata de pulsuri laser ultracurte si de mare intensitate

CUPRINS:

↓ **Obiectivele anului 2011**

↓ **Rezumatul etapei**

↓ **Descrierea stiintifica a activitatii**

↓ **Concluzii**

↓ **Bibliografie**

↓ **Obiectivele anului 2011**

- ✓ Studiul emisiei radiatiei THz de banda larga datorata excitarii mediilor gazoase prin focalizarea pulsurilor laser ultracurte.
- ✓ Studiul polarizarii campului de radiatie THz.

↓ **Rezumatul etapei**

In cadrul acestei etape s-a realizat un studiu teoretic cu privire la emisia radiatiei THz de banda larga prin focalizarea pulsurilor ultracurte in diferite medii gazoase. Datorita unor aplicatii importante care necesita modularea optica a undelor THz, s-a studiat polarizarea campului de radiatie THz si dependenta eficientei generarii acestuia functie de polarizarile fasciculelor optice folosite la generare.

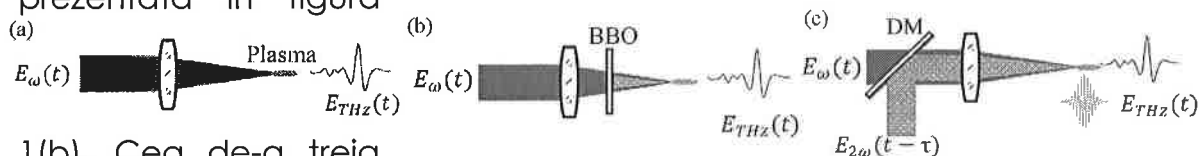
Descrierea stiintifica a activitatii

Ca domeniu al spectrului electromagnetic, incomplet exploatat datorita dificultatilor tehnologice, domeniul de frecventa 0,1 – 10 THz a devenit un subiect interesant pentru cercetare in fizica si extrem de activ cu privire la aplicatii in chimie, biologie, stiintele materialelor si medicina. Recent, progresele semnificative in domeniul stiintei si tehnologiei THz au deschis o gama larga de potentiale oportunitati in cercetare pentru aplicatii incluzand analiza codului genetic, imagistica la nivel celular, senzorii chimici/biologici, detectarea componentelor explozive, imagistica tomografica, etc. Acestea au ridicat cercetarea THz de la o obscuritate

relativa la o stiinta in plin avant aflata la granita mai multor domenii de cercetare.

Generarea undelor THz, folosind pulsuri laser ultracurte (femtosecunde) prin fenomenul de auto-generare a plasmei in aer, se bucura de un larg interes in ultima perioada.

Exista trei configuratii diferite ale interactiei pulsuri-optice gaz (aer sau gaze inerte) pentru generarea radiatiei THz intense in aer. Figura 1 ilustreaza schematic cele trei geometrii principale pentru emisia undelor THz prin focalizarea unui fascicul optic in aer. Prima aproximatie reprezinta focalizarea unui fascicul laser de 800 nm sau 400 nm cu durata pulsului de 100 fs in aer in vederea crearii plasmei necesare formarii radiatiei THz, asa cum este prezentat in figura 1(a). A doua aproximatie in care dupa lentila de focalizare este plasat un cristal de beta-BBO (beta borat de bariu) este prezentata in figura



1(b). Cea de-a treia configuratie, prezenta in figura 1(c), combina fasciculele de 800nm si 400 nm (fundamental si armonica sa secundara) cu ajutorul unei oglinzi dicroice care asigura controlul coerent al radiatiei THz prin interferenta constructiva sau distructiva a doua fascicule.

Figura 1. Diagramele celor trei setup-uri experimentale. (a) Un fascicul optic pulsat (ω si 2ω) genereaza plasma, in aer, in focarul lentilei; acest filament de plasma ionizat optic emite radiatie THz de banda larga, in care generarea de unde THz este datorata fortei ponderomotoare. (b) Introducerea unui cristal optic nelinier, cum ar fi un cristal de beta BBO de 100 micrometri grosime, dupa lentila, genereaza armonica a doua care se va co-propaga cu unda fundamentala, fiind apoi mixate printr-un proces optic nelinier de ordin trei pentru a crea unde intense THz. (c) O oglinda dicroica combina cea de-a doua armonica cu unda fundamentala. Faza, amplitudinea si polarizarea ambelor fascicule pot fi controlate individual. Cand fasciculul fundamental este mixat cu cea de-a doua armonica a sa, se observa unde foarte intense THz. Polarizarea undei THz poate fi controlata prin schimbarea fazei, adica prin intermediul timpului de intarziere, dintre cele doua unde optice.

In cazul unei singure unde, generarea radiatiei THz este atribuita distributiei spatiale neomogene a energiei ponderomotoare a electronilor liberi in regim relativist sau mixarea a patru unde in aer.

Procesul optic nelinier de ordin trei care se regaseste in configuratiile prezentate in figura 1(b) si (c) este compatibil cu teoria rectificarii celor patru unde dar si cu teoria curentului de drift al electronilor liberi, in care

polarizarea si puterea fasciculului de 800 nm si celui de 400 nm sunt controlate independent:

$$E_{THz}(t) \propto P^{(2)}(t) = \chi^{(3)} E_{2\omega}(t) E_{\omega}^*(t) E_{\omega}^*(t) \quad (1)$$

P este polarizarea dielectrica, $\chi^{(3)}$ coeficientul optic neliniar de ordin trei, E este componenta campului electric asociata campului optic. In literatura, s-a gasit ca cea mai buna configuratie pentru generarea eficienta a undelor THz este atunci cand undele au aceeasi polarizare. Ecuatia (1) poate fi rescrisa sub forma:

$$E_{THz}(t) \propto \chi^{(3)}_{xxxx} E_{2\omega}(t) E_{\omega}^*(t) E_{\omega}^*(t) \cos \theta$$

Unde $\theta=2\omega\tau$ este deplasarea in faza dintre unda fundamentala si a doua armonica a sa, iar τ este timpul de intarziere, asa cum este prezentat in figura 1(c). Factorul $\chi^{(3)}_{xxxx}$ indica ca toate polarizarile au aceeasi directie. Diferenta de faza, θ , dintre pulsuri, ce apare in timpul propagarii in aer si in plasma, se datoreaza indicilor de refractie diferiti atat pentru unda fundamentala cat si pentru armonica a doua a sa si este descrisa de relatia (fig.2):

$$\theta = \omega \frac{[(n_{air,\omega} - n_{air,2\omega})L_1 + (n_{filament,\omega} - n_{filament,2\omega})L_2]}{c} + \theta_0$$

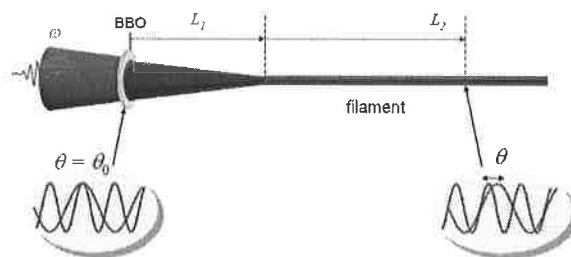


Fig.2 Diferenta de faza dintre unda fundamentala si armonica a doua a sa

In literatura, experimentele de emisie a radiatiei THz in plasma indusa laser in diferite tipuri de gaze au aratat ca, avand o valoare ridicata a susceptibilitatii neliniare de ordin trei a gazului nu este garantata o eficienta sporita a emisieii undelor THz (tabelul 1). Astfel ca putem spune ca cel mai bun si mai putin costisitor mediu de emisie THz este aerul.

Tabelul 1. Eficienta emisieii THz pentru diferite gaze

Numele gazului	$\chi^{(3)} / \chi^{(3)}(N_2)$	Eficienta emisieii THz (in comparatie cu N_2)
He	0.047	0.21
Ne	0.085	0.33
N_2	1.0	1.00
Aer	~1.0	0.94

Ar	1.1	1.16
Kr	3.0	1.39
Xe	7.5	1.11
CH ₄	2.8	1.07
C ₂ H ₆	5.1	0.80
C ₃ H ₈	8.6	0.62
C ₄ H ₁₀	11.1	0.45 – foarte instabil

Montajul experimental cel mai des folosit, in vederea obtinerii radiatiei THz, utilizand configuratia din fig.1 (c) este prezentat in fig.3(a).

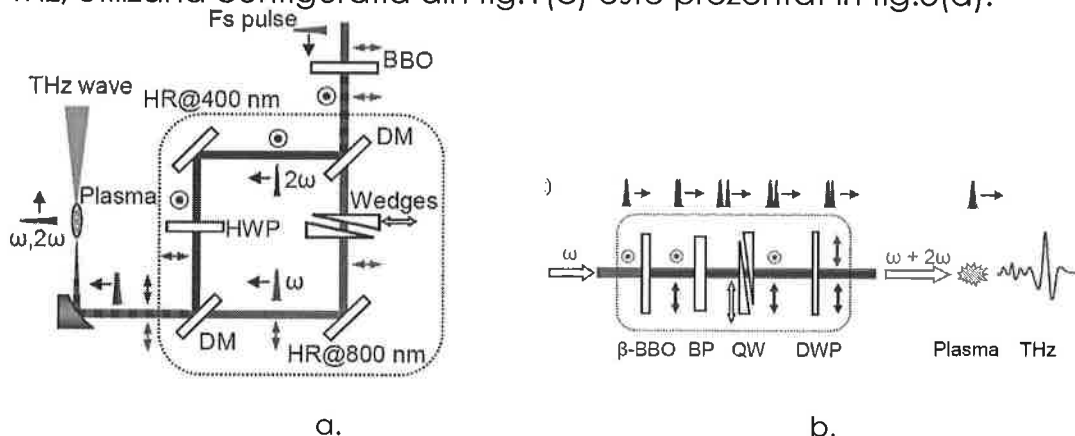


Fig. 3 (a) si (b) Diagrama montajului experimental pentru obtinerea radiatiei THz in doua configuratii diferite

Un puls foarte scurt, cu durata sub 100 femtosecunde si cu lungimea de unda de 800 nm genereaza armonica a doua la 400 nm dupa ce trece printr-un cristal de BBO de tipul I. Fasciculele cu frecventa ω si 2ω , ale caror polarizari sunt perpendiculare, sunt separate de o oglinda dicroica (DM). Lama semi-unda introdusa in bratul armonicii a doua este folosita pentru rotirarea planului de polarizare al fasciculului. In bratul cu unda fundamentala, o pereche de pene cu unghi mic, din quart topit, sunt utilizate pentru a controla fin linia de intarziere. Cele doua fascicule sunt mixate folosind o alta oglinda dicroica si focalizate in aer cu ajutorul unei oglinzi parabolice.

Exista trei factori care limiteaza eficienta conversiei in energie THz folosind plume in aer: (1) polarizarea, intensitatile si fazele atat ale fasciculului fundamental cat si ale armonicii a doua ar trebui controlate independent pentru optimizarea emisiei THz; (2) Aerul ambiental (78% azot) sau azot gas la presiune atmosferica nu garanteaza cea mai buna eficienta a conversiei THz si (3) energia de pompaj limitata (< mJ energia pulsului oferita de majoritatea amplificatoarelor).

Pentru a trece de aceste limitari, se foloseste un compensator de faza, fig.3 (b), in vederea controlarii individuale a polarizarii si intensitatilor celor doua fascicule si a fazei relative dintre cele doua. Puterea medie a radiatiei THz creste de patru ori in comparatie cu montajul din fig 3(a). Principiul de functionare al compensatorului „in linie” este dupa cum urmeaza: pulsul laser de 800 nm genereaza armonica a doua, 400 nm, dupa trecerea printr-

un cristal de BBO. Cele doua fascicule, ω si 2ω , care au polarizari perpendiculare trec printr-o lama birefringenta, cu „axa slow” aliniata dupa polarizarea fascicului fundamental (raza ordinara) iar „axa fast” dupa polarizarea armonicii a doua (raza extraordinara), care face ca pulsul 2ω sa se propage in fata pulsului ω . O pereche de pene cu unghi mic sunt folosite pentru controlul intarzierii fazei intre cele doua pulsuri, prin relatia:

$$\Delta\tau = \Delta l(n_{2\omega} - n_{\omega})\tan\theta_{\omega}$$

unde Δl este pasul masutei de translatie al penei, n_{ω} si $n_{2\omega}$ sunt indicii de reflexie ai cuartului pentru fascicului fundamental si armonica sa, θ_{ω} este unghiul penei iar $\Delta\tau$ este pasul optic de intarziere rezultat. O lama de unda dual-band este folosita pentru controlul polarizarii. Avantajul acestui compensator de faza in linie este ca se combina deplasarea laterala minima cu fluctuatii de faza minime. Daca pulsul optic (ω si 2ω) ce excita mediul este polarizat linear atunci fascicului THz are aceeasi polarizare cu armonica a doua. Oricum, eficienta emisiei undelor THz este cu un ordin de marime mai mare atunci cand pulsul optic este polarizat paralel decat in situatia polarizarii perpendiculare.

S-a gasit ca undele THz sunt coerent controlabile daca macar una din cele doua unde (ω sau 2ω) este polarizata eliptic. Directia de polarizare a unei THz emise se roteste cu schimbarea fazei optice relative. Figurile 4 (a) si (b) prezinta schimbarea intensitatii radiatiei THz masurate versus unghiul de polarizare al radiatiei si faza relativa intre pulsurile ω si 2ω , fasciculele fiind polarizate diferit.

In cazul in care cele doua fascicule, ω si 2ω , sunt circular polarizate atunci polarizarea radiatiei THz emise se roteste cu schimbarea fazei dintre pulsuri in timp ce intensitatea campului THz este mentinuta constanta. Aceasta situatie fiind foarte importanta pentru aplicatii precum despozitivele de modulare THz.

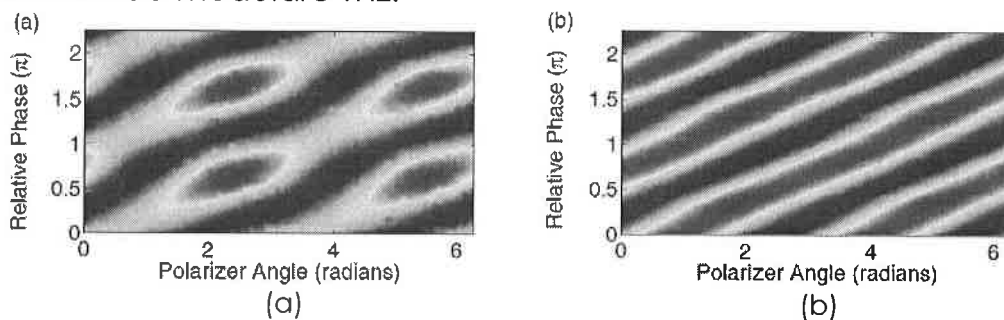


Fig.4 (a) Intensitatea radiatiei THz in functie de unghiul de polarizare THz si faza relativa dintre cele doua fascicule cu pulsul ω polarizat circular dreapta si pulsul 2ω polarizat eliptic. (b) Intensitatea radiatiei THz in functie de unghiul de polarizare THz si faza relativa dintre cele doua fascicule cand amandoua sunt polarizate circular.

✦ Concluzii

Radiatia THz emisa prin plasma indusa laser cu doua culori (800 si 400 nm) poate fi controlata coerent prin faza relativa dintre cele doua fascicule optice (800 si 400 nm). Acest lucru face posibila modularea undelor THz intense folosind metoda optica fenomen care era considerat imposibil pana nu de mult.

Spectrul de emisie Thz se schimba daca se schimba faza relativa dintre cele doua fascicule; spectrul radiatiei THz emise fiind dependent de faza.

Chiar daca susceptibilitatea neliniara de ordin trei a gazului este ridicata aceasta nu garanteaza o eficienta sporita a emisiei THz.

📌 Bibliografie

- Jianming Dai, Nicholas Karpowicz, X.-C. Zhang, Physical Review Letters 103, 023001 (2009).
- Y. Zhang et al., Opt. Express, vol. 16, 15483 (2008).
- J. Dai ,X.-C. Zhang, Appl. Phys. Lett. vol. 94, 021117 (2009).
- J. Dai, X. Xie, X.-C. Zhang, Phys. Rev. Lett, vol. 97, 103903(2006).
- S. Xu, Y. Zhang, Yinbo Zheng, Weiwei Liu, Terahertz Science and Technology, Vol.3, No.3, 130-142 (2010)
- K.Y.Kim,A. J. Taylor, J. H. Glowina, andG.Rodriguez, Nature Photon, vol. 2, pp. 605–609, (2008).
- J. Dai, X. Xie, and X.-C. Zhang,Appl. Phys. Lett., vol. 91, pp. 211102-1–211102-3, 2007.

Director proiect, Dr. Traian Dascalu

