

Prezentarea proiectului: DEZVOLTARI PRIVIND NOI TEHNICI DE INVESTIGATIE IN MICROSCOPIA OPTICA CU BALEIAJ SI APLICATII ALE ACESTORA, Cod CNCSIS 1566

Director de proiect : Prof. Dr. G.A. Stanciu
Centrul de Microscopie – Microanaliza si Procesarea Informatiei

1.. Importanta si relevanta continutului stiintific

Este cunoscut ca limitarile microscopiei optice conventionale sunt date de rezolutie (limitata de difractie) si de puterea de patrundere (limitata de lungimea de unda a radiatiei utilizate). Descoperirea microscopiei confocale[1] bazata pe excitatia cu radiatie laser a reprezentat un urias salt in microscopia optica datorita imbunatatirii rezolutiei si cresterii adancimii de patrundere in proba a radiatiei. La momentul de fata microscopia cu baleiaj laser reprezinta o metoda de investigatie plasata in topul metodelor optice. Microscopia confocala cu baleiaj laser este o metoda foarte raspandita si utilizata cu mare succes in cazul probelor de natura diferita (semiconductoare, biologice, polimeri etc). Marele avantaj al acesteia este legat de posibilitatea de a obtine “sectiuni” optice intr-un mod nedistructiv, prin utilizarea unei aperturi plasata in fata detectorului pentru a elimina lumina care provine din afara planului focal. Metoda prezinta un dezavantaj major, acela al efectelor nedorite ale radiatiei laser asupra probei, in special probe biologice, deoarece tot volumul probei strabatut de radiatia laser este excitat pe durata baleiajului. Acest lucru poate fi inlaturat de excitatia cu doi fotoni care apare numai in punctul unde raza laser este focalizata, fiind astfel excitat un volum mult mai mic. Aceleasi avantaje le prezinta si tehnicile microscopice care ar utiliza generarea de armonici, putand oferi informatii suplimentare legate de intefete si suprafete (armonica a treia) sau discontinuitati in volum (armonica a doua).

Pentru a imbunatati rezolutia, metodele neliniare sunt bazate pe o alta abordare decat utilizarea unei aperturi. Astfel excitatia apare numai la absorbtia a mai mult de un foton. Aceste fenomene neliniare au proprietatea de a excita volume foarte mici, ceea ce duce la imbunatatirea rezolutiei spatiale[1].

Procesele optice neliniare sunt procese legate de interactiunea luminii laser de mare intensitate cu materia. Procesele optice neliniare care se vor afla la baza studiilor ce vor fi efectuate in cadrul proiectului pe care il propunem sunt excitatia cu doi fotoni (TPE - *Two Photon Excitation*), generarea armonicii a doua (SHG – *Second Harmonic Generation*), respectiv generarea armonicii a treia (THG – *Third Harmonic Generation*).

Interesul pentru aceste tehnici survine din faptul ca au o adancime de patrundere mai mare (posibilitatea folosirii lungimilor de undă din infrarosu apropiat), eficienta de interactie ridicata daca se folosesc laseri cu pulsuri foarte scurte si eficienta îmbunatatita a detectiei optice care provine din faptul ca nu este necesara o apertura suplimentara. Toate aceste avantaje apar insa si in cazul fluorescentei excitate cu fotoni multipli, (*MPF – Multi-Photon excited Fluorescence*) din care face parte TPE, aceasta este insa un proces rezonant care implica absorbtia simultana a mai multi fotoni cu energie mica ceea ce duce la excitare electronica urmata de emisia fluorescanta depinzand de configuratia moleculara (simetrie si orientare) si cu un timp de intarziere dependent de timpul de viata al starii excitate. SHG si THG au natura electronica si deci nu sunt procese rezonante. In cazul generarii de armonici, mai multi fotoni (doi sau trei) de aceeasi frecventa se unesc prin stari virtuale pentru a forma un foton cu exact dublul/triplul frecventei initiale. Fotonul astfel generat prin armonica a doua/treia apare aproape instantaneu

(intarziere de ordinul femtosecundelor), astfel incat semnalul generat este coerent si este emis in general in aceeasi directie cu unda incidenta.

TPE este o tehnica de imagistica prin care se detecteaza fluorescenta produsa de excitatia probei cu doi fotoni care se cupleaza. Probabilitatea de cuplare a doi fotoni este foarte mica si din aceasta cauza este necesara o intensitate ridicata a radiatiei laser incidente, lucru realizabil prin utilizarea unui laser in pulsuri. Mai mult acest fenomen are loc in punctul de focalizare al laserului, unde numarul de fotoni este ridicat, ceea ce duce totodata la excitarea unui volum mic din proba, inlaturandu-se astfel efecte nedorite.

Conceptul a fost introdus pentru prima data de Maria Goppert-Mayer in teza sa de doctorat din 1931. Primele idei legate de microscopia cu excitatie cu doi fotoni au aparut in anii '90, fiind introduse de Winfried Denk de la Universitatea Cornell[2].

Tehnicile conventionale de fluorescenta excitata cu un singur foton folosesc lungimi de unda mici (de obicei ultraviolet, albastru, verde) pentru a excita fluoroforii din celulele marcate care emit sub forma de fluorescenta o radiatie cu lungimea de unda mai mare care formeaza imaginea. Acest lucru prezinta o serie de dezavantaje care restrictioneaza aplicabilitatea acestei tehnici si anume: radiatia cu lungime de unda mica duce la decolorare, prezentand fototoxicitate – efecte nedorite asupra probei. Mai mult, din cauza imprastierii luminii, adancimea de patrundere este redusa la cativa zeci de microni.

Folosirea excitatiei cu doi fotoni inlatura aceste dezavantaje, ducand la cresterea adancimii de patrundere cu pana la un ordin de marime si totodata permite expunerea indelungata la radiatie, efectele nedorite fiind minime.

Microscopia cu excitare cu doi fotoni ofera posibilitatea de obtinere a sectiunilor optice similar cu microscopia confocala, doar ca sectionarea este obtinuta diferit. Daca in microscopia confocala este excitat intreg volumul probei si cu ajutorul unei aperturi este inlaturata radiatia care nu provine din focar, in cazul excitarii cu doi fotoni nu exista semnal din afara planului focal, cuplarea fotonilor avand loc tocmai aici.

Observata pentru prima data de Franken si colaboratorii in 1961[3], SHG este un efect neliniar care apare in materiale polarizabile (materialul nu trebuie sa aiba centru de simetrie), prin care doi fotoni incidenti proveniti de la sursa laser se cupleaza si duc la formarea unui foton cu frecventa dubla fata de cea incidenta. In 1968 Bloembergen a formulat principiile opticii neliniare si în special ale SHG. Imagistica folosind armonica a doua a avut aplicatii limitate in microscopie pana nu s-a descoperit o modalitate de a intensifica interactia fasciculului laser cu materia. Acest lucru a fost realizat o data cu aparitia laserilor cu moduri cuplate in anii '80. Puterea ridicata in puls a acestor laseri maximizeaza intensitatea armonicii a doua pentru o putere medie de intrare data.

In 1978 grupul de la Oxford al lui Sheppard[4] a demonstrat modul in care un fenomen optic neliniar ar putea fi incorporat in microscopia cu baleiaj laser de inalta rezolutie.

In microscopia cu generare a armonicii a treia (THG este un efect optic neliniar prin care trei fotoni cu aceeasi frecventa se cupleaza si formeaza un foton cu frecventa tripla), lumina aferenta armonicii a treia este generata in punctul focal al unui fascicul laser focalizat. Când mediul din jurul punctului focal este omogen, undele armonicii a treia generate inainte si dupa punctul focal interfera in mod distructiv, deci nu exista semnal de armonica a treia. In caz contrar, cand exista un mediu neomogen in apropierea punctului focal, cum ar fi interfata a doua medii, simetria de-a lungul axei optice se sparge si sunt generate unde masurabile de armonica a treia. Datorita naturii neliniare, semnal de armonica a treia este generat doar in proximitatea punctului focal. In consecinta, se obtine un nivel ridicat al rezolutiei laterale, permitand microscopiei THG

sectionarea probei și construcția imaginilor tridimensionale ale unor probe transparente. Din moment ce toate materialele prezintă susceptibilități optice de ordin trei, microscopia THG poate fi utilizată ca o tehnică microscopice cu numeroase aplicații[5].

Ca tehnici microscopice de investigare, microscopia SHG și THG poate fi folosită atât pentru a stabili comportarea optică neliniară a unei probe, prin detectarea unui semnal de armonica a doua (sau a treia) provenit de la aceasta în urma iluminării cu radiație laser de intensitate mare și totodată, cunoscând caracterul optic neliniară al probei, se pot extrage informații suplimentare din semnalul de armonicii.

Semnal de armonica a doua detectabil a putut fi obținut de la o gamă largă de probe cum ar fi filme subțiri organice, suprafețe metalice[6]. THG este sensibilă la câmpul electric de la suprafață, tensiuni, defecte induse de radiații, contaminări, rugozitatea interfeței, ceea ce face această tehnică să fie potrivită pentru a investiga materiale structurate în straturi cum ar fi interfața dintre dielectricul de poartă și semiconductor sau structuri siliciu pe izolator (SOI)[7].

Microscopia cu baleiaj în combinație cu armonica a doua se dovedește astfel a fi o tehnică potrivită pentru studii ale structurilor mezoscopice. Acest lucru se datorează sensibilității puternice a armonicii a doua la întreruperea simetriei locale a unei anumite probe. Acesta este și cazul nanocristalelor semiconductoare[8], astfel că folosind microscopia și armonica a doua se poate pune în evidență prezența nanocristalelor în proba investigată prin întreruperea simetriei locale la nivelul probei sau lipsa simetriei în fasciculul provenit de la probă.

Investigațiile pe nanocristale de CdS:Mn utilizând un laser cu Cr:fosterite în microscopia cu baleiaj au pus în evidență o puternică generare a armonicii a treia[9].

Generarea de armonici poate fi folosită ca modalitate de detectare a nanoparticulelor metalice și caracterizarea lor din punct de vedere al neliniarității optice. Prin modificarea puterii laserului incident se poate demonstra dependența cubică între aceasta și intensitatea radiației de armonica a treia detectată, evidențiind astfel un comportament optic neliniară. În cazul nanoparticulelor metalice, semnalul de armonica a treia este dependent de dimensiunea nanoparticulelor și de matricea polimerică în care sunt încapsulate.

Utilitatea microscopiei cu generare de armonici nu se limitează la știința materialelor, ci se extinde și în domeniul științelor biologice și medicale. Probele biologice sunt puternic polarizabile și sunt foarte bune pentru a obține semnale de armonica a doua. SHG nu necesită excitarea moleculelor fluorescente; cum nu sunt implicate stări moleculare excitate, nu apar fenomene de decolorare datorată luminii (*photobleaching*) sau deteriorare în urma iradierii cu fascicul laser (*phototoxicity*). În concluzie, SHG este avantajoasă în comparație cu alte metode de imagistică prin fluorescență în investigarea țesuturilor vii și a celulelor[10].

Pe de altă parte, microscopia THG este o metodă de încredere pentru obținerea informațiilor structurale pe o varietate extinsă de probe biologice. Natura sa permite imagistică și studiul neomogenităților din volum (interfețe) fără a avea nici o informație preliminară despre mediile omogene inconjurătoare.

Rezultatele obținute la nivel internațional sunt în marea lor majoritate lipsite de interpretarea rezultatelor, în sensul că diversele grupuri de cercetare au reușit să obțină rezultate folosind separat tehnicile microscopice prezentate în unele cazuri doar pentru a demonstra caracterul neliniară al probei (investigațiile cu microscopie cu generare de armonici) fără însă a încerca să pună în valoare avantajele acestora ca tehnici de imagistică.

Mai mult nu s-a încercat coroborarea rezultatelor obținute separat fie prin excitație cu doi fotoni, fie prin generare de armonici pentru a realiza o imagine mai cuprinzătoare asupra probei investigate dacă privim cele trei tehnici ca tehnici microscopice ce pot oferi informații

complementare.

Rezultatele investigatiilor realizate prin intermediul tehnicilor microscopice pot fi imbunatatite prin analiza computationala a datelor achizitionate in format digital. La momentul actual exista doua directii in procesarea imaginilor obtinute in microscopie. O prima categorie de aplicatii incadreaza pe cele ce au ca scop imbunatatirea imaginilor obtinute cu ajutorul tehnicilor microscopice, respectiv eliminarea zgomotului, imbunatatirea unor caracteristici precum luminozitatea sau contrastul[11], inlaturarea efectelor de iluminare parazita, inlaturarea aberatiilor cromatice, imbunatatirea rezolutiei si alte scopuri de aceasi natura. O a doua categorie se refera la detectia, recunoasterea si clasificarea anumitor componente din imaginile obtinute cu ajutorul microscopelor cu baleiaj[11,12]. De multe ori, anumite componente continute de imagini pot fi clasificate cu dificultate sau chiar deloc de catre ochiul uman, din cauza formei componentelor, scalei de culori, dimensiunii si asa mai departe.

Tehnicile de microscopie optica neliniara reprezinta elemente inovative in domeniul microscopiei, o consecinta a acestui fapt fiind lipsa tehnicilor de procesare a imaginilor obtinute prin aceste noi metode. Exista la momentul actual rezultate semnificative in domeniul procesarii imaginilor obtinute prin microscopie, rezultate de multe ori vitale in procesul de analiza al elementelor continute in imagine. Aceste metode constituie punctul de plecare, trebuind adaptate la tehnicile pe care dorim sa le dezvoltam.

Pentru a evidenta relevanta acestor tehnici, vom prezenta o serie de rezultate raportate in literatura de specialitate. Aceste rezultate nu sunt obtinute pe imagini obtinute prin tehnicile microscopice propuse, pentru a le implementa insa se poate observa cu usurinta potentialul enorm pe care l-ar avea adaptarea unor tehnici similare in domeniul care face interesul acestei propuneri. Metode de procesare a imaginilor au fost dezvoltate pentru corectia erorilor continute in imaginile obtinute in microscopia confocala. Aceste erori pot fi introduse in timpul procesului de achizitie a imaginii si a reconstructie tridimensionale subsecvente. Gama de corectii ce pot fi implementate prin intermediul algoritmilor software include corectii datorate aberatiilor provenite de la o corelare eronata a indicelui de refractie, atenuarea iluminarii in volumul probei, intensitate discrepanta pe straturile imaginii, sau alinierii defectuase a probei. In literatura de specialitate s-au raportat beneficiile aduse de procedeele de procesare a imaginilor in cazul microscopiei confocale. S-a observat ca astfel de procedee pot corecta o gama larga de erori continute in imaginile 2D reprezentand sectiuni pe axa z. Avand la baza imaginile corectate se pot construi cu ajutorul acestora imagini tridimensionale compozite care se preteaza evaluarii obiective a caracteristicilor tridimensionale continute in volumul de interes[13]. Reconstructia tridimensionala realizata software se desfasoara automatizat si rapid. Are loc o procesare a stivelor de imagini si a valorilor pixelilor pentru fiecare strat in parte, iar ulterior o incorporare a acestora intr-un obiect tridimensional in functie de pozitiile lor spatiale. Intensitatea pixelilor dintre doua straturi adiacente a fost interpolata pentru ca structura 3D sa prezinte un aspect neted. Imaginile tridimensionale astfel reconstruite pot fi rotite pentru a putea fi vizualizate din orice unghi pentru ca structurile morfologice incluse sa poata fi observate clar din perspectiva unor proiectii diferite.

O alta tehnica deosebit de importanta raportata in literatura de specialitate se refera la achizitionarea unor imagini a caror calitate sa depaseasca limitarile geometrice impuse de dimensiunea pixelilor din cadrul detectorului care realizeaza achizitia[14]. Acest concept implica proiectia unor modele sablon periodice pe suprafata probei investigate cu ajutorul microscopului. Se combina baleiajul spatial cu un algoritm de post-procesare digitala rezultatul fiind o

imbunatatire in rezolutia geometrica. Aceasta metoda se afla la inceput de drum insa reprezinta un element major de interes in domeniul super-rezolutiei geometrice. Aceasta se datoreaza faptului ca in microscopie in multe cazuri rezolutia detectorului este mai mica decat rezolutia necesara pentru a observa elementele de interes datorita limitarilor impuse de fenomenul de difractie. Rezultatele raportate se refera la aplicatii in microscopia cu fluorescenta si in transmisie, obtinandu-se o rezolutie spatia imbunatatita in cazul in care factorul care impune limitarea este dimenisunea pixelului pusa la dispozitie de detector.

Au fost obtinute rezultate si in domeniul procesarii imaginilor in vederea extragerii informatiilor de interes din imagine. In literatura de specialitate s-au prezentat procedee de extragere a elementelor de interes avand la baza o imagine tridimensionala reprezentand vasculatura unui sobolan. S-au extras informatii cantitative precum ar fi skeletonul, lungimea cailor sanguine, diametrul, raportul vas de sange/tesut pentru vase de sange din diferite regiuni precum si pentru ramificatiile acestora. De asemenea s-au generat vizualizari tridimensionale a vaselor de sange din perspectiva posibilitatii vizualizarii caracteristicilor anatomice de interes precum ar fi diametrul vaselor de sange sau conectivitatea in volum. Tehnicile folosite in aceasta metoda sunt : (1) pre-procesarea, (2) analiza dimensionala a elementelor structurale, (3) etichetarea si clasificarea elementelor morfologice, (4) cuantificarea, (5) vizualizarea. Informatiile despre structura geometrica a cailor sanguine reflecta o serie de mecanisme fiziologice care au un impact crucial asupra morfologiei vaselor de sange. S-au experimentat acesti algoritmi pe imagini simulate reprezentand cai sanguine ramificate si pe imagini reale obtinute prin intermediul microscopie confocale pe probe reprezentand caile sangvine din creierul sobolanilor. Metodele utilizate au infatisat o puternica rezistenta in fata zgomotelor si a distorsiunilor de hotar datorata faptului ca nu se bazeaza pe sabloane locale ci iau in considerare structura globala a obiectului. Rezultatele experimentale au ilustrat performantele unor astfel de metode si importanta acestora in cadrul analizei imaginilor de interes medical in principal in cazul observarii raspunsului la tratament. In contextul in care tehnicile de microscopie care reprezinta subiectul de interes al acestei propuneri au intre aplicatiile directe si studiul probelor biologice, se poate cu usurinta preconiza impactul dezvoltarii unor astfel de tehnici de procesare a imaginii dedicate acestui domeniu.

[1] C.J.R. Sheppard, A. Choudhury, *Optica Acta*, **24**, 1051-1073 (1977)

[2] Denk W, Strickler J, Webb W (1990), *Two-photon laser scanning fluorescence microscopy*, Science 248 (4951): 73-6, 1990.

[3] Franken, P. A., Hill, A. E., Peters, C.W., and Weinreich, G., *Generation of Optical Harmonics*, Phys. Rev. Lett. **7**, p. 118-119 (1961)

[4] Sheppard C.J.R., Kompfner R., *Resonant scanning optical microscope*, Appl Opt 17:2879-2882 1978

[5] D. Yelin and Y. Silberberg, *Laser scanning third-harmonic-generation microscopy in biology*, Optics Express, vol. 5, Issue 8, p.169 Publication Date: 10/1999

[6] F.R.Aussenegg, A.Leitner and H.Gold, *Optical second-harmonic generation of metal-island films*, 1994

[7] N.H.Tolk, M.L.Alles, R.Pasternak, X.Lu, R.D.Schrimpf, D.M.Fleetwood, R.P.Dolan, R.Standley, *Oxide interface studies using second harmonic generation*, Microelectronic Engineering 84 (2007) 2089-2092

[8] Napoleon Thantu, *Second harmonic generation and two-photon luminescence upconversion in glasses doped with ZnSe nanocrystalline quantum dots*, Jurnal of Luminescence 111 (2005), 17-

24, [9]

[9] *Scanning probe microscopy, luminescence and third harmonic generation studies of elongated CdS:Mn nanostructures developed by energetic oxygen-ion-impact* D. Mohanta, G.A. Ahmed, A. Choudhury, F. Singh, D.K. Avasthi, G. Boyer and G.A. Stanciu, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* **35**, 29-36 (2006)

[10] Lalayan, Asatur A.; Janunts, Edgar A., *Two-photon fluorescence and second harmonic generation phenomena in the ordered tissue*, Proc. SPIE Vol. 4633, p. 69-73, 2003

[11] Razdan, A., Patel, K., Farnin, G. E., & Capco, D. G. (2001). *Volume visualization of multicolor laser confocal microscope data*. *Computers and Graphics*, 25, 371–382

[12] Z. Chen, S. Molloi, *Vascular tree object segmentation by deskeletonization of valley courses*, *Comput. Med. Imaging Graphics* 26 (2002) 419

[13] S. Ko, S. Gunasekaran, *Error correction of confocal microscopy images for in situ food microstructure evaluation*, *Journal of Food Engineering* 79 (2007) 935–944

[14] Dror Fixler et al., *Pattern projection for subpixel resolved imaging in microscopy*, *Micron* 38 (2007) 115–120

2. Obiectivele proiectului(se specifica clar obiectivele proiectului in contextul stadiului cunoasterii in domeniu, elementele originale vizate si importanta pentru domeniu, impactul estimat al proiectului; daca este cazul se va referire la caracterul interdisciplinar)

Scopul proiectului propus este de a utiliza noi tehnici de investigatie bazate pe microscopia cu baleiaj laser de inalta rezolutie, care vor fi dezvoltate in cadrul CMMPI, pentru studii in domenii ca: optoelectronica (materiale si nanocristale semiconductoare folosite pentru dispozitive optoelectronice), biologie (probe biologice marcate sau autofluorescente, probe biologice care genereaza armonici), biomateriale (se va studia interfata biomaterial- tesut biologic). Pentru atingerea acestui scop propunem utilizarea efectelor neliniare produse de radiatia laser.

Ne propunem ca utilizand o combinatie intre tehnicile curente de investigatie cu baleiaj laser si efectele neliniare (excitatie cu doi fotoni, generarea de armonici) sa obtinem noi tehnici de investigare nedistructive, superioare celor actuale in ceea ce priveste adancimea de patrundere, rezolutia optica, cantitatea si calitatea informatiei.

Daca la momentul actual s-a reusit obtinerea de imagini provenite din semnal de armonica a doua sau a treia de la diverse tipuri de probe lipseste cu desavarsire o interpretare cantitativa a acestora. Acestea sunt prezentate ca alternative la modalitatile curente de fluorescenta, nemaifiind necesara marcarea probelor, inasa nu s-a exploatat in totalitate informatia oferita de semnalul neliniar provenit de la proba. Dupa cum am mai spus acest semnal poate oferi detalii legate de proprietatile de material, studii la interfete inaccesibile prin alte metode microscopice nedistructive. Urmaram totodata folosirea in paralel a celor trei metode care sa ofera o imagine de ansamblu a probei odata investigata prin toate trei; astfel microscopia cu excitatie cu doi fotoni poate oferi informatii legate de fluorescenta (anliza spectrala) probei cu o rezolutie mai buna decat metodele traditionale, cu o putere de patrundere mai mare si o imprastiere a radiatiei laser mai mica, microscopia cu generarea armonicii a doua ofera informatii legate de discontinuitatile din volumul probei, iar microscopia cu generarea armonicii a treia ofera informatii legate de interfete. Se pot obtine, dupa cum se vede o gama larga de informatii dintr-o singura investigatie, gama care nu a fost exploatata pana acum.

Obiectivele proiectului in contextul stadiului cunoasterii in domeniu:

Obiectivul 1: Studii teoretice si experimentale privind utilizarea excitatiei cu doi fotoni in microscopia cu baleiaj laser. Studiile efectuate vor viza in special analiza cantitativa a informatiei, in momentul de fata rezultatele fiind legate de analiza calitativa.

Obiectivul 2: Studii si dezvoltari teoretice asupra generarii armonicilor a doua si a treia si asupra posibilitatii folosirii in microscopia cu baleiaj laser. Desi teoria privind generarea de armonici este bine pusa la punct, aceasta este slab dezvoltata in cazul utilizarii armonicilor in microscopia cu baleiaj laser. Teoria de inceput elaborata de C. Sheppard (ref.4: 8.1) a ramas singulara, astfel incat nu a fost abordata o analiza cantitativa a acesteia.

Obiectivul 3. Sudii teoretice si experimentale asupra materialelor si nanocristalelor semiconductoare utilizand microscopia cu generare de armonici .Rezultatele obtinute pe plan mondial in acest domeniu se rezuma la cateva incercari, cele prezentate de noi (ref. 9: 8.1) fiind de pionierat.

Obiectivul 4. Sudii teoretice si experimentale asupra probelor biologice si a interactiei biomaterial-tesutul biologic, utilizand microscopia cu generare de armonici. Pana in momentul de fata au fost obtinute rezultate legate de aspectul calitativ in cazul probelor biologice, fara a se trece la o analiza cantitativa a informatiei. In ceea ce priveste studiul interfetei bio-nonbio, este necesara o detectie in spate a armonicilor a treia., ceea ce nu s-a obtinut pana in prezent decat in cazul armonicilor a doua.

Obiectivul 5. Dezvoltarea unor metode complexe de investigatii asupra probelor cu diferite simetrii, pe baza complementaritatii metodelor elaborate. Pana in prezent au fost efectuate investigatii bazate pe armonici in mod separat, fara a se studia complementaritatea tehnicilor.

Obiectivul 6. Studii teoretice si experimentale asupra metodelor software de imbunatatire a rezultatelor obtinute in format digital prin intermediul tehnicilor de microscopie neliniara cu baleiaj laser. Acest domeniu este total neabordat in literatura.

Obiectivul 7. Diseminarea rezultatelor.

Obiectivele derivate ale proiectului :

- finantarea tinerilor doctoranzi si formarea acestora intr-un domeniu de mare actualitate;

- elaborarea a trei teze de doctorat;

- dezvoltarea legaturilor existente cu partenerii din tara(IMT,INSB, INFPLR, INOE, OPTOELECTRONICA, UB, ICPE)

- rezolvarea unor probleme similare in cadrul grantului european FP7 (aflat in negociere) in cadrul caruia CMMPI este partener, fiind implicat in rezolvarea unor noi probleme de microscopie bazate pe TPE, SHG si THG.

- dezvoltarea colaborarii cu Institutul de Biofotonica (care va livra probele sol-gel dopate), Laboratoire des Propriétés Optiques des Matériaux et Applications (care va livra probele de DNA), intarirea colaborarii cu Laboratoire cu care CMMPI colaboreaza la investigatii asupra probelor de DNA, cu **Department of Physics of University of Balikesir, care va livra filmele semiconductoare si Department of Physics (Tezpur University-India), care va furniza nanocristale semiconductoare;**

- publicatii in reviste cotate ISI;

Literatura prezentata la 8.1 si lucrarile prezentate in CV-ul directorului de proiect evidentiaza intr-un mod clar situatia in lume, care releva faptul ca in momentul de fata cercetarile in domeniile abordate sunt la nivel de analiza calitativa.

Elementele originale vizate si importanta pentru domeniu

Sunt vizate a se obtine **elemente originale** in cateva domenii.

• Primul element cel al tehnicilor de investigatie. Se urmareste elaborarea de noi metode de

detectie a efectelor neliniare. Astfel se va incerca detectia armonicilor in radiatia intoarsa (detectia pe drumul razei incidente), ceea ce ar fi foarte folositor in cazul probelor groase.

- In ceea ce priveste materialele investigate avem doua tinte: a) sa gasim noi materiale care sa genereze armonici in mod eficient (materiale si nanocristale semiconductoare) si b) sa stabilim metode de investigatie asupra structurii materialelor pe baza analizei armonicilor generate de radiatia laser.

- Un alt domeniu vizat este cel al procesarii imaginilor. Vom urmari obtinerea de informatii suplimentare asupra structurii materialelor prin procesarea imaginilor (a se vedea activitatile ob.1 din 2011, care pot fi considerate in totalitate elemente originale).

Consideram ca realizarea obiectivelor propuse, ar avea o deosebita importanta in domeniile: fizica aplicata (elaborarea de noi tehnici de investigatie asupra proprietatilor materiei si descoperirea a unor noi materiale cu aplicatii in fotonica), optoelectronica (studii asupra proprietatilor optice de suprafata si volum ale materialelor si nanocristalelor semiconductoare), biologie (studii asupra structurii celulare pe baza efectelor neliniare), tehnologiei informatiei (elaborarea de noi tehnici de analiza a imaginilor).

Impactul proiectului.

Proiectul se adreseaza cercetatorilor care lucreaza in domeniile: optoelectronicii, fizicii aplicate, fotonicii, biologiei, materialelor si nanomaterialelor semiconductoare, domenii aflate intr-un continuu.

Impact asteptat

- Solutiile gasite vor deasupra a ceea ce se cunoaste in momentul de fata, astfel:

- Se vor gasi noi metode de investigatie bazate pe efecte optice neliniare in Microscopia cu baleiaj si vor fi elaborate noi modele fizice;
- Vor fi gasite noi materiale si nanocristale semiconductoare generate de armonici, cu aplicatii in optoelectronica si fotonica;
- Vor fi evaluate proprietatile structurale ale materialelor si nanocristalelor semiconductoare si a probelor biologice pe baza studiului efectelor neliniare;
- Vor fi elaborate mai multe lucrari stiintifice care vor contribui la cresterea prestigiului CMMPI si al UPB;
- vor fi atrasi mai multi studenti in activitate de cercetare;
- Vor fi create bazele extensiei cercetarilor la a domeniului precum: biosensori, biofotonica, aplicatii medicale (studii de celule);
- Vor fi create legaturi stranse cu laboratoarele din tara (care vor furniza probe) si cu cele din afara, care vor contribui la realizarea proiectului;

Impactul proiectului asupra CMMPI:

- se vor finaliza tezele de doctorat ale doctoranzilor implicati in proiect;
- va creste atractivitatea CMMPI, pentru studentii din anii terminali si la master;
- va creste prestigiul CMMPI;
- pe baza noilor metode elaborate si a rezultatelor legate de utilizarea armonicilor in studii asupra proprietatilor materialelor, va fi posibila elaborarea de noi proiecte de cercetare si va creste atractivitatea CMMPI in ceea ce priveste participarea la consortii in programele nationale sau europene.

Proiectul are un evident caracter interdisciplinar, pentru realizarea sa fiind nevoie de cunostiinte solide de fizica, electronica cuantica (laseri), optoelectronica, fotonica, biologie.

Potentialele rezultate ar fi importante pentru toate aceste domenii.

3. Planul de realizare al proiectului

| An * | Obiective (Denumirea obiectivului) | Activitati asociate |
|------|--|---|
| 2009 | 1 Studii teoretice si experimentale privind utilizarea excitatiei cu doi fotoni in microscopia cu baleiaj laser. | <p>1.1. Abordare teoretica a utilizarii excitatiei cu doi fotoni in microscopia cu baleiaj laser si stabilirea avantajelor fata de metodele curente (excitatie cu un foton).</p> <p>1.2. Utilizarea microscopiei cu baleiaj laser bazata pe excitatia cu doi fotoni pentru studii pe materiale semiconductoare.</p> <p>1.3. Investigatia nanostructurilor semiconductoare prin microscopia cu baleiaj bazata pe excitatia cu doi fotoni.</p> <p>1.4. Investigatii asupra probelor biologice marcate sau autofluorescente.</p> <p>1.5. Investigatii asupra materialelor poroase (sol-gel), in vederea stabilirii unei metode de identificare a localizarii 3D si a comportamentului substantelor fluorescente.</p> <p>1.6. Evaluare rezultatelor experimentale in vederea stabilirii avantajelor metodei pentru domeniile abordate (materiale si nanocristale semiconductoare, probe biologice).</p> <p>1.7. Dezvoltarea unor tehnici optime de procesare digitala a imaginilor obtinute prin excitatie cu doi fotoni.</p> <p>1.8 Participari la conferinte in domeniu</p> <p>1.9 Stagi de pregatire si de cercetare doctoranzi in LAMBS: Laboratory Advanced Microscopy Bioimaging Spectroscopy, University of Genoa</p> <p>1.10 Stagi de cercetare-documentare de o saptamana la Laboratoire des Proprietes Optiques des Materiaux et Applications (POMA), Universitatea din Angers</p> <p>1.11 Stagi de pregatire si cercetare, Departamentul de Optica, Universitatea din Valencia</p> |
| | 2 Studii si dezvoltari teoretice asupra generarii armonicilor a doua si a treia si asupra posibilitatii folosirii in microscopia cu baleiaj laser. | <p>2.1. Studiu teoretic asupra generarii armonicilor in diverse materiale corespunzatoare din punct de vedere al simetriei.</p> <p>2.3. Realizarea unui sistem de investigatie cu generare de armonici folosind un microscop cu baleiaj laser si un laser in IR cu impulsuri ultrascurte (femtosecunde).</p> |

| | | | |
|------|---|---|--|
| | | | 2.4 Stagiul de pregătire și cercetare, Universitatea din Tezpur |
| | | | 2.5 Stagiul de cercetare la Departamentul de Fizică din Universitatea din Balıkesir |
| | | | 2.6 Documentare-cercetare la Institutul de Biofotonică, Universitatea Națională Yang-Ming, Taiwan |
| | | | 2.7 Participări la conferințe în domeniu |
| | | | 2.8 Inițierea paginii web a proiectului. |
| | | | 2.9. Diseminarea rezultatelor etapei. |
| 2010 | 1 | Studii teoretice și experimentale asupra materialelor și nanocristalelor semiconductoare utilizând microscopia cu generare de armonici. | 3.1 Utilizarea armonicilor generate de radiația laser în microscopia cu baleiaj pentru studii asupra materialelor semiconductoare urmărind neomogenități în structura probelor în volum și la interfețe. |
| | | | 3.2 Utilizarea armonicilor generate de radiația laser în microscopia cu baleiaj pentru studii asupra nanocristalelor semiconductoare plasate în filme polimerice |
| | | | 3.3 Compararea rezultatelor obținute prin investigații folosind armonicile a doua și a treia cu cele obținute prin excitație cu doi fotoni; evidențierea avantajelor metodelor. |
| | | | 3.4 Participări la conferințe în domeniu |
| | | | 3.5 Stagiul de pregătire și de cercetare doctoranzi în LAMBS: Laboratory Advanced Microscopy Bioimaging Spectroscopy, University of Genoa |
| | | | 3.6 Stagiul de cercetare-documentare de o săptămână la Laboratoire des Propriétés Optiques des Matériaux et Applications (POMA), Universitatea din Angers |
| | | | 3.7 Stagiul de pregătire și cercetare, Universitatea din Valencia |

| | | | |
|------|---|--|---|
| | 2 | Sudii teoretice si experimentale asupra probelor biologice si a interactiei biomaterial-tesutul biologic, utilizand microscopia cu generare de armonici. | <p>4.1 Utilizarea armonicilor generate de radiatia laser in microscopia cu baleiaj pentru studii asupra probelor biologice</p> <p>4.2 Utilizarea armonicilor generate de radiatia laser in microscopia cu baleiaj pentru studii asupra interactiei biomaterial-tesut (nonbio-bio).</p> <p>4.3 Compararea rezultatelor obtinute prin investigatii folosind armonicile a doua si a treia cu cele obtinute prin microscopie confocala si microscopie bazata pe excitatie cu doi fotoni; evidentierea avantajelor si dezavantajelor metodelor.</p> <p>4.4. Dezvoltarea unor tehnici optime de procesare digitala a imaginilor obtinute prin microscopie cu generare de armonici.</p> <p>4.5 Stagi de pregatire si cercetare, Universitatea din Tezpur</p> <p>4.6 Stagi de cercetare la Departamentul de Fizica din Universitatea din Balikesir</p> <p>4.7 Documentare-cercetare la Institutul de Biofotonica, Universitatea Nationala Yang-Ming, Taiwan</p> <p>4.8. Diseminare: elaborare publicatii, participari la conferinte, seminar.</p> <p>4.9. Actualizarea paginii web.</p> |
| 2011 | 1 | Dezvoltarea unor metode complexe de investigatii asupra probelor cu diferite simetrii, pe baza complementaritatii metodelor elaborate. | <p>5.1. Analiza teoretica si experimentală a complementaritatii metodelor bazate pe efecte neliniare.</p> <p>5.2 Analiza comparativa a utilizarii metodelor complementare in investigatii pe probe semiconductoare (materiale si nanocristale).</p> <p>5.3. Analiza comparativa a utilizarii metodelor complementare in investigatii pe probe biologice si interactiile acestora cu biomaterialele (suprafete, interfete si volum).</p> <p>5.4 Stagi de pregatire si de cercetare doctornazi in LAMBS: Laboratory Advanced Microscopy Bioimaging Spectroscopy, University of Genoa</p> <p>5.5 Stagi de cercetare-documentare de o saptamana la Laboratoire des Propriet es Optiques des Materiaux et Applications (POMA), Universitatea din Angers</p> |

| | | |
|---|--|--|
| | | 5.6 Stagi de pregatire si cercetare, Departamentul de Optica, Universitatea din Valencia |
| | | 5.7 Participari la conferinte in domeniu |
| 2 | Studii teoretice si experimentale asupra metodelor software de imbunatatire a rezultatelor obtinute in format digital prin intermediul tehnicilor de microscopie neliniara cu baleiaj laser. | <p>6.1 Stabilirea unor corespondente intre metodele de procesare a imaginilor folosite in cadrul tehnicilor clasice de microscopie si cele dezvoltate in cadrul proiectului.</p> <p>6.2 Stabilirea unor seturi optime de decizii pentru algoritmi de procesare a imaginilor dedicati tehnicilor microscopice dezvoltate in cadrul proiectului.</p> <p>6.3 Dezvoltarea, adaptarea si optimizarea metodelor de filtrare spatiala a imaginilor pentru convolutia imaginilor obtinute prin intermediul tehnicilor microscopice dezvoltate in cadrul proiectului.</p> <p>6.4. Dezvoltarea, adaptarea si optimizarea unor tehnici de filtrare frecventiala bazate pe metode Fourier in vederea procesarii imaginilor obtinute prin intermediul tehnicilor microscopice dezvoltate in cadrul proiectului.</p> <p>6.5. Dezvoltarea unor metode de procesare digitala a imaginilor in vederea depasirii limitelor de rezolutie impuse de arhitectura sistemelor microscopice dezvoltate in cadrul proiectului. (Super-rezolutie)</p> <p>6.6. Dezvoltarea unor metode computerizate de detectie a informatiilor de interes incluse in datele de format digital obtinute prin intermediul tehnicilor microscopice dezvoltate in cadrul proiectului.</p> |
| | | <p>6.7 Stagi de pregatire si cercetare, Universitatea din Tezpur</p> <p>6.8 Stagi de cercetare la Departamentul de Fizica din Universitatea din Balikesir</p> <p>6.9 Documentare-cercetare la Institutul de Biofotonica Universitatea Nationala Yang-Ming, Taiwan</p> <p>6.10 Participari la conferinte</p> |
| 3 | Diseminarea rezultatelor obtinute in cadrul proiectului | <p>7.1. Diseminarea rezultatelor: seminar, workshop, publicatii, participari la conferinte, CD de prezentare.</p> <p>7.2. Publicarea unui volum (carte) de prezentare a rezultatelor teoretice si experimentale obtinute.</p> <p>7.3 Actualizarea paginii web.</p> |

**PN-II-ID-PCE-2008-2****2009**Codul CNCIS al proiectului finantat
Se completeaza de catre directorul de proiect

Anul raportarii

RAPORT ANUAL DE ACTIVITATE

1. Date personale ale directorului de proiect :

| | |
|---------------|------------------------|
| 1.1. Nume: | STANCIU |
| 1.2. Prenume: | GHEORGHE |
| 1.3. Telefon: | 021 4029110 |
| 1.4. E-Mail: | stanciu@physics.pub.ro |

2. Institutia gazda a proiectului:

| | |
|-----------------------------|--|
| 2.1. Denumire Institutie: | UNIVERSITATEA POLITEHNICA BUCURESTI |
| 2.2. Facultate/ Department: | CENTRUL DE MICROSCOPIE-MICROANALIZA SI PRELUCRAREA INFORMATIEI |
| 2.3. Telefon: | 021 4029110 |
| 2.4. E-Mail: | stanciu@physics.pub.ro |

3. Titlul proiectului:

(Max 200 caractere)

DEZVOLTARI PRIVIND NOI TEHNICI DE INVESTIGATIE IN MICROSCOPIA CU BALEIAJ LASER SI APLICATII ALE ACESTORA

4. Incadrarea proiectului in domeniile de expertiza:

| COD COMISIE | COD SUBCOMISIE | COD DOMENIU |
|-------------|----------------|-------------|
| 2 | 2C | 32 |

5. Durata proiectului (3 ani) :

36

de luni

6. Anul pentru care se face raportarea:

1

7. Valoarea aprobata pentru finantarea proiectului in anul de raportare:

80094

lei

8. Modul de utilizare a bugetului:

(cheltuieli reale efectuate din devizul postcalcul)

| NR. CRT | DENUMIRE CAPITOL BUGET | VALOARE 2009 (LEI) |
|---------|---|--------------------|
| 1. | CHELTUIELI DE PERSONAL - max. 60% | 53675 |
| 2. | CHELTUIELI INDIRECTE (regie) | 13419 |
| 3. | MOBILITATI (se asigură participarea la stagii de documentare-cercetare în țara și în străinătate, participări la manifestări științifice naționale și internaționale) | 7968 |
| 4. | CHELTUIELI DE LOGISTICA pentru derularea proiectului (infrastructura de cercetare, cheltuieli materiale, diseminare etc.) | 5032 |
| | TOTAL | 80093 |

9. Obiectivele proiectului pentru anul de raportare:

| | Obiective prevazute (Anexa IIa/Contractul de finanțare) | Obiective realizate | Gradul de realizare* | Observatii** |
|---|---|---|----------------------|--------------|
| 1 | Studii teoretice și experimentale privind utilizarea excitației cu doi fotoni în microscopia cu baleiaj laser. | Studii teoretice și experimentale privind utilizarea excitației cu doi fotoni în microscopia cu baleiaj laser. | total | |
| 2 | Sudii teoretice și experimentale asupra materialelor și nanocristalelor semiconductoare utilizând microscopia cu generare de armonici | Sudii teoretice și experimentale asupra materialelor și nanocristalelor semiconductoare utilizând microscopia cu generare de armonici | total | |
| 3 | | | | |

* total / partial / nerealizat

** Pentru obiectivele realizate parțial sau nerealizate se argumentează

10. Activitățile proiectului pentru anul de raportare:

| | Activități prevazute (Anexa IIa/Contractul de finanțare) | Activități realizate | Gradul de realizare* | Observatii** |
|---|---|--|----------------------|--|
| 1 | Abordare teoretică a utilizării excitației cu doi fotoni în microscopia cu baleiaj laser și stabilirea avantajelor față de metodele curente (excitație cu un foton). Mobilitati la Romoto (SIBIU) | Abordare teoretică a utilizării excitației cu doi fotoni în microscopia cu baleiaj laser și stabilirea avantajelor față de metodele curente (excitație cu un foton). | parțial | S-a transmis o lucrare la Romopto, dar din lipsa de fonduri participarea a fost anulată. |

| | | | | |
|---|---|--|---------|---|
| 2 | Utilizarea microscopiei cu baleiaj laser bazata pe excitatia cu doi fotoni pentru studii pe materiale semiconductoare, urmarind spectrele de fluorescenta. | Utilizarea microscopiei cu baleiaj laser bazata pe excitatia cu doi fotoni pentru studii pe materiale semiconductoare, urmarind spectrele de fluorescenta. | total | |
| 3 | Elaborarea paginii web a proiectului. Diseminarea rezultatelor. Mobilitati la ICTON 2009. Mobilitate Albero Diaspro la Bucuresti | Elaborarea paginii web a proiectului. Diseminarea rezultatelor. Mobilitate la ICTON 2009. | partial | Lipsa de fonduri |
| 4 | Investigatia nanostructurilor semiconductoare prin microscopia cu baleiaj laser bazata pe excitatia cu doi fotoni. Studiul spectrului de emisie | Investigatia nanostructurilor semiconductoare prin microscopia cu baleiaj laser bazata pe excitatia cu doi fotoni. Studiul spectrului de emisie | total | |
| 5 | Investigatii asupra probelor biologice marcate sau autofluorescente, pentru a evidentia avantajele metodei fata de microscopia confocala. Mobilitati la conferinta Microscopy and Analysis (SUA), INDLAS 2009 (Sibiu) | Investigatii asupra probelor biologice marcate sau autofluorescente, pentru a evidentia avantajele metodei fata de microscopia confocala. | partial | Mobilitatile nu s-a efectuat din lipsa de fonduri |
| 6 | Investigatii asupra materialelor poroase (sol-gel), in vederea stabilirii unei metode de identificare a localizarii 3D si a comportamentului substantelor. Mobilitate la LAMBS (Universitatea din Genoa) | Investigatii asupra materialelor poroase (sol-gel), in vederea stabilirii unei metode de identificare a localizarii 3D si a comportamentului substantelor. | partial | Mobilitatea nu s-a efectuat din lipsa de fonduri |
| 7 | . Evaluarea rezultatelor experimentale in vederea stabilirii avantajelor metodei pentru domeniile abordate (materiale si nanocristale semiconductoare, probe biologice). | . Evaluarea rezultatelor experimentale in vederea stabilirii avantajelor metodei pentru domeniile abordate (materiale si nanocristale semiconductoare, probe biologice). | total | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |

* total / partial / nerealizat

** Pentru obiectivele realizate partial sau nerealizate se argumenteaza

11. Rezultate livrate in anul de raportare :

| | Rezultate prevazute (Anexa IIa/Contractul de finantare) | Rezultate livrate | Gradul de realizare* | Observatii** |
|---|--|--|-----------------------------|---------------------|
| 1 | Metode de investigatie prin microscopia cu doi fotoni (probe semiconductoare si biologice) | Metode de investigatie prin microscopia cu doi fotoni (probe semiconductoare si biologice) | total | |

| | | | | |
|---|---|--|-------|--|
| 2 | Procesari digitale ale imaginilor obtinute prin tehnicile de imagistica bazate pe excitatia cu fotoni multipli si pe armonica a doua in microscopia cu baleiaj laser - Comparatie intre metodele ce utilizeaza excitatia cu doi fotoni si respectiv armonica a doua in microscopia cu baleiaj laser. | Procesari digitale ale imaginilor obtinute prin tehnicile de imagistica bazate pe excitatia cu fotoni multipli si pe armonica a doua in microscopia cu baleiaj laser | total | |
| 3 | Publicare de lucrari stiintifice. Infiintarea paginii web a proiectului | Publicare de lucrari stiintifice. Infiintarea paginii web a proiectului | total | |

* total / partial / nerealizat

** Pentru obiectivele realizate partial sau nerealizate se argumenteaza

12. Criterii de performanta:

| Criterii de performanta | NUMAR (Prevazut) | NUMAR (Realizat) | Denumire* | Observatii** |
|--|------------------|------------------|--|--|
| Articole acceptate spre publicare în reviste indexate ISI | 3 | 3 | Stefan G. Stanciu , George A. Stanciu Dinu Coltuc, Automated compensation of light attenuation in confocal microscopy by exact histogram specification, MICROSCOPY RESEARCH AND TECHNIQUE 10, (2009), ISSN: 1097-0029, OCLC: 37997433- publicata | Din lipsa de fonduri colaborarea cu partenerul italian a fost practic inexistentă, astfel încât numărul preconizat de lucrări s-a redus. |
| | | | Stefan Stanciu, Radu Hristu, Radu Boriga and George Stanciu, On the invariance of local features to image modifications introduced by specific acquisition parameters of CSLM, Microscopy and Microanalysis, - acceptata cu refacere minora | |
| | | | M. Elisa, B. Savu, S. Peretz and G.A. Stanciu, Cadmium sulphide nanoparticles embedded in polymeric matrices, JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS, Vol. 11, No. 12, December 2009, p. 2098 - 2104 | |
| Articole acceptate spre publicare în reviste indexate în baze de date internaționale | 2 | 5 | G. A. Stanciu, C. Stoichita, S.G. Stanciu, Scanning Laser Microscopy: From Far Field to Near Field, Proceedings of the International Conferences on Transparent Optical Networks, ICTON2009, Ponte Delgada, ISBN978-1-4244-4826-5 | |
| | | | Stefan G. Stanciu, Radu Hristu, Radu Boriga and George Stanciu, Feature Based Recognition of Photonic Devices in Images Obtained by Confocal Scanning Laser Microscopy, Proceedings of the ICTON2009, ISBN978-1-4244-4826-5 | |
| | | | C. Stoichita, R. Hristu, S. G. Stanciu and G. A. Stanciu, Near field investigations based on a new apertureless near field optical | |

| | | | | |
|---|---|---|--|--|
| | | | microscope, Proceedings of the ICTON - MW' 2009, | |
| | | | S.G. Stanciu, D. Coltuc, R. Hristu, C. Stoichita, G.A. Stanciu, Image fusion for photonic quantum ring laser structures investigated by confocal scanning laser microscopy, Proceedings of the ICTON - MW' 2009, | |
| Cereri de brevete nationale depuse | 0 | 0 | | |
| | | | | |
| Cereri de brevete internationale depuse | 0 | 0 | | |
| | | | | |

* Structura informatiilor pentru articole: autor, titlu, revista, an, pagina

** Pentru criteriile de performanta nerealizate se argumenteaza

13. Publicatiile sau rezultatele aparute si raportate in urma cercetarii finantate de la bugetul de stat prin UEFISCSU au mentionat numele finantatorului si numarul de contract:

| |
|-----------|
| DA |
|-----------|

(Selectati)

14. Adresa paginii de internet realizate, privind proiectul in derulare:

| |
|--------------|
| www.cmmip.ro |
|--------------|

15. Au fost prevazute in Cererea de finantare pozitii vacante pentru cercetatorii in formare, in anul 2009:

| |
|----|
| NU |
|----|

(Selectati)

Lista noilor membrii ai echipei de cercetare: (daca locurile vacante au fost ocupate in anul de raportare)

| Nr. crt. | Nume si prenume | Anul nasterii | Titlul didactic/ stiintific * | Doctorat ** | Semnatura |
|----------|-----------------|---------------|-------------------------------|-------------|-----------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |

- * La **“Titlu didactic/stiintific”** selectati una din variantele:
Profesor / Conferentiar / Lector / Asistent / CS I / CS II / CS III / Cercetator
- ** La **“Doctorat”** selectati una din variantele: DA /NU / Doctorand

In situatia in care Directorul de proiect nu este si coordonatorul lor de doctorat, trebuie sa existe acordul coordonatorilor de doctorat.

16. Nerealizari/dificultati intampinate in derularea proiectului, in anul de raportare:

| |
|--|
| Nerealizarile si dificultatile intampinate in anul de raportare au fost legate de reducerea semnificativa a fondurilor, in raport cu suma alocata initial. |
|--|

17. Sugestii privind raportarea:

| |
|--|
| |
|--|

**PRIN ACEASTA SE CERTIFICA LEGALITATEA SI CORECTITUDINEA
DATELOR CUPRINSE IN PREZENTUL RAPORT ANUAL DE ACTIVITATE**

DATA: 4.12.2009

RECTOR/DIRECTOR,

Nume, prenume: Prof. Andronescu Ecaterina

Semnatura:

Stampila

DIRECTOR EC./CONTABIL SEF

Nume, prenume: Ec. Adamescu Dorina

Semnatura:

DIRECTOR DE PROIECT,

Nume, prenume: PROF. GHEORGHE STANCIU

Semnatura

*** Va rugam sa nu folositi caracterul ghilimele in completarea formularului.**