

Raport sintetic 2012-2013 la contractul PCE-IDEI 35/2011

Titlul proiectului

Procese de conversie cuantica a excitatiei in surse fotonice cu prospect pentru producerea de energie sustenabila

Obiectiv general: Investigarea de noi materiale laser si procese de electronica cuantica de interes pentru productia sustenabila de energie.

Scopul principal al acestui proiect este investigarea unor aspecte noi cu caracter fundamental si aplicativ ale materialelor laser si proceselor de electronica cuantica de interes pentru productia de energie sustenabila. Materialele laser active propuse pentru investigatii in acest proiect sunt *ceramici cubice oxidice simple si complexe* (materiale ordonate: granati ca granatul de itriu si aluminiu (YAG- $Y_3Al_5O_{12}$) sau sesquioxizi R_2O_3 , granati dezordonati intrinsec, sau solutii mixte) dopate cu ioni activi RE^{3+} , in principal Nd^{3+} sau Yb^{3+} . Pentru a imbunatati absorbtia de pompaj s-a avut in vedere co-doparea cu ioni sensibilizatori capabili sa absoarba efficient radiatia surselor de pompaj (diode laser, lampi flash, radiatie solara) si sa o transfere la ionii activi.

O atentie speciala se acorda investigarii posibilitatilor de control a proprietatilor spectroscopice care determina performantele emisiei laser, in diverse regimuri de functionare, prin selectia adecvata a compozitiei materialului gazda si a dopantilor. Se vor studia si modalitati pentru prevenirea manifestarii pierderilor parasite cum ar efectele termice, amplificarea emisiei spontane (ASE) in cazul unor componente laser mari sau aparitia de efecte de colorare transiente sau permanente.

Experimentele cuprind prepararea diverselor probe de ceramici translucide (in laborator in cadrul contractului) si transparente (in cooperare cu Prof. A. Ikesue, World Lab Nagoya, Japonia), masuratori spectroscopice de inalta rezolutie spectrala statica si dinamica la diverse temperaturi pentru a obtine date noi privind structura de nivele energetice, probabilitati de emisie, efecte termice, procese de transfer de energie, etc. Pe baza analizei datelor experimentale se efectueaza modelari fizico-matematice ale proceselor statice si dinamice, optimizarea absorbtiei si eficientei de emisie, modelarea proceselor de emisie laser.

Selectia materialelor de studiu precum si a aspectelor noi ce se investigheza in fiecare etapa s-au adaptat la rezultatele obtinute in cadrul proiectului si tendintele si rezultatele noi in domeniu, publicate in literatura.

Obiective specifice:

- I. Caracterizarea proceselor de sensibilizare in sisteme cu benzi inguste de emisie
- II. Caracterizarea proceselor de emisie si sensibilizare in sisteme cu banda larga de emisie
- III. Modelarea emisiei laser sensibilizate si evaluarea potentialului pentru emisie de energie inalta sau emisie laser pompata solar sau convertori ai radiatiei solare

Etapa I, 2012

1. Prepararea de probe ceramice traslucide de YAG nedopate
2. Sensibilizarea emisiei in infrarosu prin excitare in vizibil –infrarosu apropiat.

Etapa II, 2013

1. Sensibilizarea emisiei in infrarosu cu excitare in albastru-violet-ultraviolet.

Rezultate 2012 si 2013

Activitatile specifice acestor etape au acoperit:

1. Prepararea de probe ceramice

Probe nedopate si dopate translucide ceramice din YAG si sesquioxizi (Y_2O_3 , Lu_2O_3 , Sc_2O_3) au fost preparate prin tehnica reactiei in faza solida. Procesul de productie cuprinde mixarea omogena a materialului, sinteza termica, compactare isostatica preliminara si sinterizare. Probele prezinta granule cu distributie destul de uniforma a dimensiunilor. Datele XRD au confirmat structura de granat sau sesquioxizi. Studiul prin microscopie electronica de suprafata al morfologiei granulelor ceramice de YAG la suprafetele de fractura ale ceramicilor sinterizate la 1700 C timp de 16 ore evidentiaza ca tehnologia utilizata permite formarea unor granule cristalizate, cu dimensiuni medii de 10 micrometri. O varietate mare de probe ceramice transparente au fost obtinute din cooperarea cu Prof. A. Ikesue, World Lab Nagoya, Japonia.

2. Sensibilizarea emisiei in infrarosu prin excitare in vizibil si IR apropiat si excitare in albastru violet-ultraviolet –studii spectroscopice si modelare.

Pentru a imbunatati absorbtia slaba a radiatiei surselor de pompaj cu emisie de banda larga, in liniile inguste ale ionilor RE^{3+} in materiale cristaline, s-au adoptat doua directii de actiune: sisteme cu structura dezordonata si co-dopajul sistemelor ordonate cu ioni de tranzitie cu benzi de absorbtie largi si puternice si care pot transfera excitatia ionilor activi laser (sensibilizarea emisiei):

2.1. Procese de emisie ale Nd^{3+} si Yb^{3+} in sisteme dezordonate

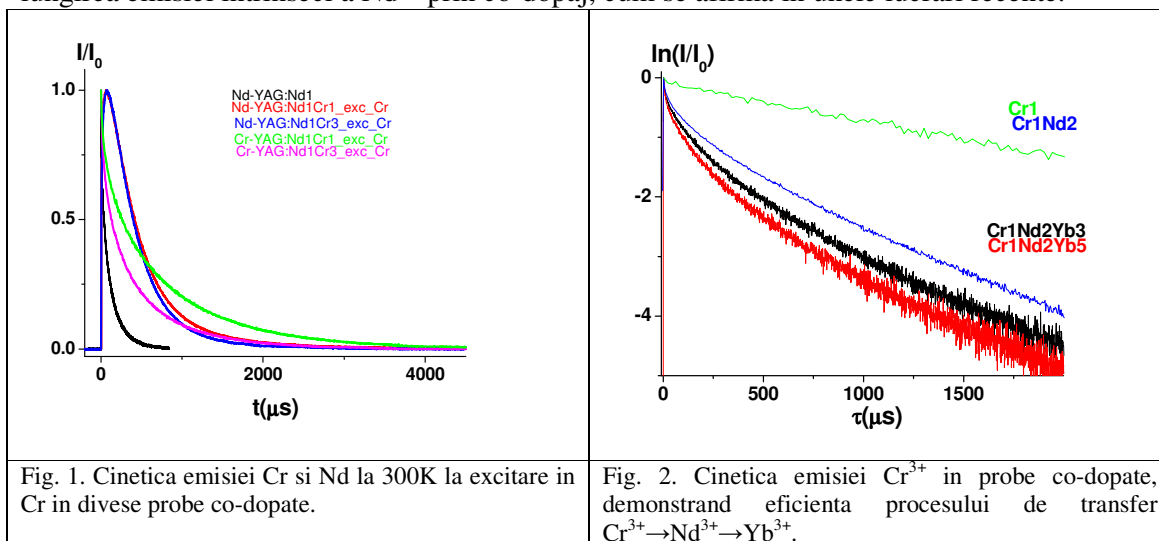
Granatii de calciu, niobiu si litiu (CLNGG) cu structura dezordonata ofera conditii pentru largiri neomogene a liniilor de absorbtie si emisie ale ionilor Nd^{3+} sau Yb^{3+} . Investigatiile spectroscopice de inalta rezolutie si modelarea au permis corelarea efectelor de largire cu compozitia materialului. S-a constatat ca aceste date sunt similare in cristale laser si ceramici. Rezultatele au fost publicate (*J. Appl. Phys.* **112**, 063110 (2012)), comunicate la conferinta internationala in 2012 si constituie parte din teza de doctorat prezentata in 2012 de catre doctorandul Achim Alexandru.

2.2. Sensibilizarea emisiei Nd^{3+} in infrarosu cu Cr^{3+} in YAG

Pentru investigarea sensibilizarii emisiei Nd^{3+} prin transfer de energie de la Cr^{3+} s-au efectuat masuratori statice si dinamice utilizand o varietate mare de probe (Nd_xCr_y):YAG $x=0,1,3$, $y=0,1,2$ ceramice transparente. S-au studiat in special datele de cinetica emisiei in urma excitarii cu pulsuri scurte de la un laser acordabil OPO (10 nsec), la diverse temperaturi. S-au evidentiat caracteristicile principale ale proceselor de transfer care sa permita selectia concentratiilor optime, cu restrictii impuse de procese parasite in interiorul sistemului de ioni activi. Astfel:

- investigarea cineticii emisiei (decay) Cr^{3+} si a Nd^{3+} in YAG:(Nd_xCr_y) pentru un domeniu larg de concentratii de Cr^{3+} sau Nd^{3+} , mult superior fata de ce au raportat alti autori (care pot fi introduse in ceramici) si temperaturi in domeniu 10-300 K, a evidentiat ca mecanismele de transfer $Cr \rightarrow Nd$ sunt de tip direct (prin interactii dipol-dipol si superschimbari) si procese asistate de migratie, astfel ele depind de ambele concentratii de Cr si Nd (Fig. 1). S-au modelat procesele de transfer si s-au evaluat parametrii ET caracteristici $C_{DA}=7.3 \times 10^{-40} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$

$\bar{W}_0 = 37 \text{ s}^{-1}(\%Cr \times \%Nd)^{-1}$ la 300 K. Pe parcursul cercetării a devenit necesară investigarea suplimentară și clarificarea unor situații conflictuale, incomplete sau eronate publicate recent în literatura de specialitate. Din modelare (la diverse temperaturi) se trage concluzia că partea de urcare (rise-time) din evoluția temporară a emisiei Nd^{3+} în cazul excitației în Cr^{3+} este determinată de dezexcitarea Nd^{3+} (care depinde de concentrația acestuia) și transferul foarte rapid de la Cr^{3+} , în timp ce partea de final este guvernată de emisia Cr^{3+} (Fig. 1) și nu de lungimea emisiei intrinseci a Nd^{3+} prin co-dopaj, cum se afirmă în unele lucrări recente.



- temperatura, în domeniul 10 - 300 K, influențează puternic caracteristicile emisiei Cr^{3+} (spectre, dinamică), și deși are un efect mult mai mic asupra emisiei Nd^{3+} , în probele co-dopate efectul în cinetica emisiei este mare.

- modelarea proceselor de transfer și estimarea parametrilor caracteristici permite selecția compoziției optime a concentrațiilor. Optimizarea emisiei Nd prin transfer de energie poate fi controlată prin alegerea concentrațiilor relative de Cr și Nd. Concentrația de Nd este limitată de procesele de transfer intrinseci, dar creșterea concentrației de Cr poate fi utilă deoarece determină creșterea eficienței transferului prin procese de migrație. Estimările bazate pe parametrii de transfer sugerează concentrații mari de Cr, în domeniul 8-10 at.% la 300 K

- datele privind transferul de energie sugerează că valorile concentrațiilor utilizate frecvent în prezent (0.1at.% Cr, 1 at.% Nd):YAG sunt departe de optim și pentru laseri (Cr,Nd):YAG pompați solar sunt necesare concentrații mult mai mari din ambii dopanți, Cr până la 8%.

2.3 Sensibilizarea emisiei ionului de Yb^{3+} în YAG

Deoarece emisia Cr^{3+} nu se suprapune cu absorbția Yb^{3+} în YAG, procesul direct de transfer de energie $Cr \rightarrow Yb$ nu este posibil, dar sensibilizarea eficientă a emisiei Yb^{3+} de către Nd^{3+} sugerează lanțul complex de sensibilizare $Cr^{3+} \rightarrow Nd^{3+} \rightarrow Yb^{3+}$. Au fost realizate probe ceramice transparente de YAG triplu-dopate cu diverse concentrații de dopanți și s-au efectuat investigații preliminare (Fig. 2). Emisia Yb^{3+} la excitație în Cr^{3+} în probele triplu dopate (Cr, Nd, Yb):YAG și datele de cinetică ale Cr^{3+} și Yb^{3+} la 300 K și 10 K dovedesc existența acestui proces de sensibilizare în lanț, care urmează a fi analizat în detaliu în etapele următoare. Datele privind sensibilizarea emisiei în infraroșu a Nd^{3+} sau Yb^{3+} fac obiectul unei lucrări în curs de redactare și a lectiei invitate „V. Lupei, A. Lupei, C. Gheorghe, A. Ikesue, “Sensitization processes of Nd^{3+} and Yb^{3+} doped YAG ceramics for broadband pumped lasers”, ce se va prezenta la „9th Laser Ceramics Symposium (LCS)”, Dec. 2-6, 2013, Daejeon, Korea.

2.4 Sensibilizarea cu Ce^{3+} a emisiei Nd^{3+} în YAG

Ionul Ce^{3+} in YAG prezinta benzi de absorbtie puternice in domeniul ultraviolet si vizibil (albastru-violet) si emisie in galben, excitatia acumulata de Ce^{3+} din sursa de pompaj (soare, flash) poate fi transferata ionului de Nd^{3+} deoarece emisia larga in galben are suprapunere mare cu benzile de absorbtie puternice ale Nd^{3+} . O situatie intersanta apare prin co-doparea mixta a sistemului Nd:YAG cu ioni de Cr^{3+} si Ce^{3+} : studiile evidentiaza atat posibilitatea transferului $Ce \rightarrow Nd$, $Ce \rightarrow Cr$ cat si a lantului complex $Ce \rightarrow Cr \rightarrow Nd$, dar rezultatele sunt recente si sunt necesare studii aditionale. Spectrul de absorbtie al Ce^{3+} in YAG are benzi largi in vizibil-UV provenind din tranzitii interconfiguratiei $4f^1 - 5d^1$ cu maxime la 225 nm, 340 nm si 460 nm. In probele ceramice simplu dopate cu 0.1 wt.% Ce: YAG absorptia la 300 K este similara cu cea in monocristale. Emisia Ce^{3+} in YAG ceramic la 300 K este larga, asimetrica corespunzand tranzitiilor $5d \rightarrow 4f$ si depinde de lungimea de unda de pompaj, lucru neelucidat inca in literatura. In masuratorile preliminarii de cinetica emisiei s-au observat deasemenea dependente de lungimea de unda de pompaj. Datele preliminarii pentru YAG: (Ce, Cr, Nd) arata perspectiva acestui sistem pentru cresterea eficientei emisiei Nd^{3+} in laserii pompaj solar.

2.5. Investigarea unor sisteme alternative

Limitarea parametrilor de transfer de energie datorita suprapunerii slabe a emisiei Cr cu absorbtia Nd determinata de structura electronica a Cr^{3+} ar putea fi evitata prin utilizarea unor sisteme cu proprietati emisive sporite, ca de exemplu granatul de gadolinium-scandiu-galiu (GSGG). Aceste materiale prezinta insa conductibilitate termica mult redusa (cca 0.5 din cea a YAG) fapt ce creaza dificultati in controlul campului termic. In vederea caracterizarii acestor procese au fost efectuate cercetari de emisie laser pentru Nd:GSGG la diferite lungimi de unda de pompaj. Aceste cercetari evidentiaza rolul defectului cuantic in determinarea performantelor laser si generarii de caldura si arata ce desi utilizarea acestui material in conditii de pompaj solar sau cu lampa impune limitarea in putere, calitatile la pompaj cu diode laser si rezistenta mult superioara in camp de radiatii ionizante il recomanda pentru laseri cu aplicatii in fizica si energetica nucleara sau in aplicatii in spatiul cosmic. *A fost redactata si trimisa spre publicare lucrarea "Improved laser efficiency by direct diode laser pumping of the radiation-resistant Nd:Gadolinium-Scandium-Gallium Garnet" de V Lupei, N Pavel, A Lupei*

3. Procese parazite in emisia laser si identificarea de solutii pentru limitarea lor.

3.1. Procese de dezexcitare in interiorul ansamblului de ioni activi.

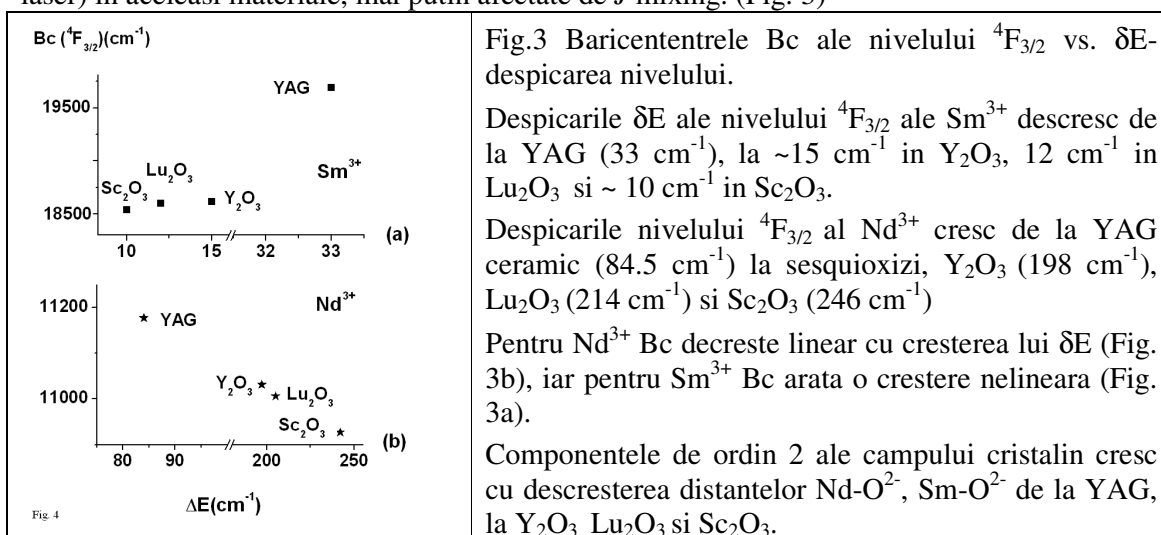
Optimizarea procesului de sensibilizare sugereaza necesitatea unor concentratii ridicate de Nd^{3+} , unde apar procese de transfer de energie in interiorul sistemului de ioni Nd^{3+} care pot reduce eficienta cuantica a emisiei si cresterea generarii de caldura. In cazul ionului Nd^{3+} sunt posibile doua tipuri de astfel de procese, conversia inferioara si cea superioara; literatura trateaza aceste procese ca independente, iar la concentratii mari de ioni excitati procesele de conversie inferioara sunt neglijate. Modelarea matematica a proceselor de transfer arata insa ca ele nu pot fi separate si ca este necesara o tratare unitara a lor. Calculele sunt in concordanta cu datele experimentale si arata ca utilizarea unor concentratii mari de Nd, desi creste eficienta transferului de la Cr^{3+} poate conduce la pierderi ulterioare importante, deci optimizarea concentratiei de Nd^{3+} trebuie sa ia in considerare ambele tipuri de procese, asa cum s-a demonstrat in lucrarea: V. Lupei, "Selfquenching of Emission and Heat Generation in Nd Lasers Revisited", Poster AM4A.13 Advanced Solid-State Lasers, 27 oct. - 01 nov. 2013, Paris, Franta

3.2. Suprimarea amplificarii emisiei spontane (ASE) a Nd^{3+} in YAG si sesquioxizi.

Amplificarea emisiei spontane (ASE) este un factor major in limitarea puterii in laserii cu solid cu Nd^{3+} sau Yb^{3+} . Datorita absorbtiei in domeniul $1\mu m$ de emisie al Nd^{3+} si transparenta in domeniul de pompaj, Sm:YAG este considerat un supresor al ASE pentru emisia laser la

1064.15 nm a Nd:YAG la temperatura camerei, lucru confirmat in experiente laser bazate pe materiale compozite de tipul Nd:YAG- element activ/Sm:YAG clad.

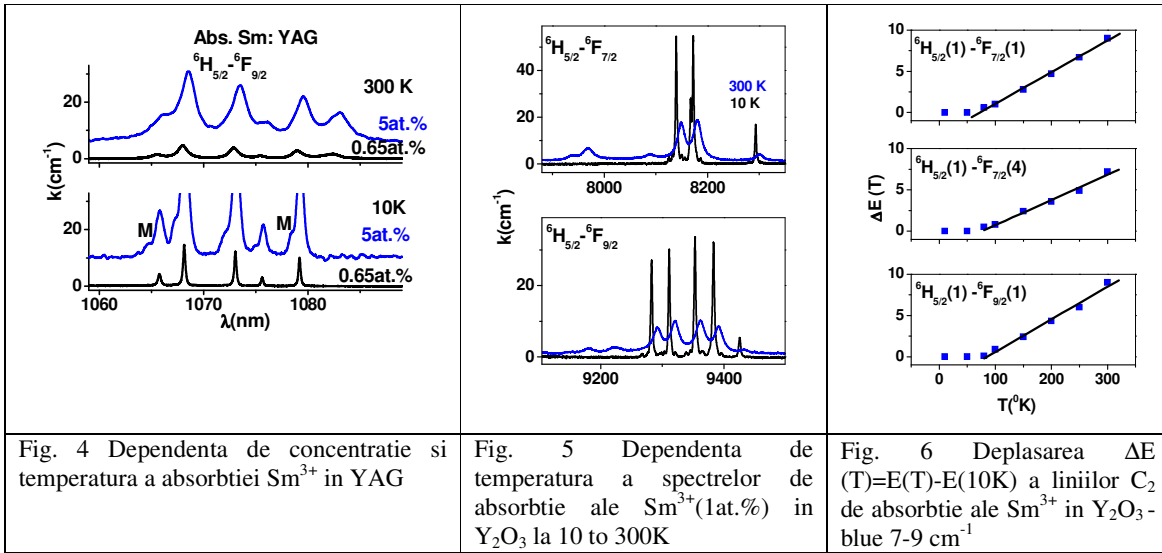
In vederea extinderii aplicatiilor de supresie a ASE in laserii cu Nd^{3+} sau Yb^{3+} de inalta putere s-au efectuat cercetari privind proprietatile spectroscopice ale ionului de Sm^{3+} in ceramici de tip granat YAG sau sesquioxizi intr-un domeniu larg de temperaturi. Pe baza datelor experimentale noi obtinute in cadrul proiectului (descrise in detaliu in lucrari publicate sau in curs de publicare privind Sm^{3+} in Y_2O_3 *Appl. Phys. B.* **108**, 909-918 (2012), Sm^{3+} in Sc_2O_3 in *Optical Materials –in press* si Sm^{3+} in Lu_2O_3 - *J.Alloys & comp.* – *acceptata*) si a celor raportate anterior in literatura s-a efectuat o analiza comparativa a structurii electronice a Sm^{3+} in YAG si sesquioxizi (Y_2O_3 , Lu_2O_3 , Sc_2O_3) ceramici in termenii efectelor nephelauxetic si de camp cristalin, controlate de caracteristicile structurale ale centrilor Sm^{3+} (cu simetrie D_2 in YAG si C_2 sau C_{3i} in sesquioxizi) si tinand cont de dezvoltarile teoretice recente in spectroscopia ionilor de pamanturi rare. Anomaliile privind pozitia baricentrelor B_c si despicarea maxima δE a diversilor multipli $^{2S+1}L_J$ (in special $^4F_{3/2}$) in cazul centrilor C_2 ai Sm^{3+} in sesquioxizi au fost corelate cu efecte de mixare a multiplilor J (J -mixing) induse de campul cristalin si importante pentru sisteme cu simetrie joasa. Aceasta presupunere a fost confirmata prin compararea cu structura electronica a nivelelor Nd^{3+} 4I_J and $^4F_{3/2}$ (de interes laser) in aceleasi materiale, mai putin afectate de J mixing. (Fig. 3)



Detalii privind efectele observate experimental si interpretarile date pot fi gasite in lucrarea in curs de publicare in *Optical Materials* 36, 419-424 (2013), DOI 10.1016/j.optmat.2013.10.004

Datorita interesului recent pentru laserii care opereaza la temperaturi scazute, pentru controlul proceselor de emisie un aspect important in eficienta supresiei ASE il are deplasarea cu temperatura (T) a liniilor de absorbtie ale Sm^{3+} si a celor de emisie ale Nd^{3+} sau Yb^{3+} . S-a efectuat o analiza a datelor privind deplasarea cu T ale liniilor de absorbtie ale Sm^{3+} $^6H_{5/2}(1) \rightarrow ^6F_{9/2}$ in YAG si and sesquioxizi. Liniile Sm^{3+} in YAG prezinta deplasari mici spre rosu daca temperatura creste, in timp ce liniile C_2 in sesquioxizi prezinta deplasari mari spre albastru ($\sim 9 \text{ cm}^{-1}$ Y_2O_3 intre 10 si 300 K).

O explicatie consistenta a deplasarilor termice observate s-a obtinut in termenii competitiei intre deplasarea *statica* (data de schimbarea structurii geometrice a centrului activ datorita expansiunii termice) si *dinamica* (datorita interactiei electron-fonon) $\Delta E(T) = \Delta E^{dyn}(T) + \Delta E^{st}(T)$ si este specifica fiecarui ion, material, centru structural sau linie spectrala. Modelele bazate pe cuplaj electron-phonon nu pot explica deplasarea spre albastru a liniilor zero-fononice.



Contributia statica a fost neglijata sistematic in literatura, dar recent, bazat pe observatia ca expansiunea termica a retelei este opusul contractiei sub compresiune isostatica, s-a dezvoltat un model ce conecteaza deplasarea termica spre albastru cu deplasarea spre rosu sub presiune isostatica a aceleasi linii. Efectul acestei competitii a fost descris recent cu o expresie teoretica similara cu cea obtinuta in cazul proceselor electron-fonon Raman dinamice, dar cu doi parametri de cuplaj

$$\Delta E(T) = (A - \alpha') \left(\frac{T}{T_D} \right)^4 \int_0^{T_D/T} \frac{x^3}{e^x - 1} dx \quad (1)$$

In (1) parametrul A este asociat cu contributia statica, α' este parametrul de shift dinamic real si T_D este temperatura Debye. Deialii despre rezultatele obtinute pot fi gasite in lucrarea *Optical Materials Express*, 3 (10) 1641-1646 (2013).

Aceasta comportare individuala a deplasarii cu temperatura a liniilor spectrale determina abilitatea de supresie ASE: YAG: Sm³⁺ poate actiona ca supresor pentru emisia Nd numai la 300 K, nu si la temperaturi joase. Studiul a aratat deasemenea ca Sm³⁺ poate fi efficient ca supresor a ASE a emisiei Nd³⁺ in Y₂O₃ la 300K si 80 K, aceasta abilitate se extinde si la Yb³⁺, dar e absenta pentru Yb:YAG. *Rezultatele vor fi prezentate la conferinta „9th Laser Ceramics Symposium (LCS)”, Dec. 2-6, 2013, Daejeon, Korea, V. Lupei, A. Lupei, C. Gheorghe, A. Ikesue, F. Voicu, “Suppression of Nd and Yb ASE by Sm absorption in ceramics”.*

Datele spectroscopice privind ionul Sm³⁺ in YAG si sesquioxizi sugereaza ca acesta poate fi util pentru reducerea efectului de solarizare a mediului activ laser sub actiunea componentelor de energie inalta in cazul laserilor pompati cu surse cu emisie de banda larga (pompa solar sau cu lampi flash).

VALORIFICAREA REZULTATELOR

I. LUCRARI PUBLICATE IN REVISTE COTATE ISI

1. V. Lupei, A. Lupei, C. Gheorghe, L. Gheorghe, A. Achim, A. Ikesue, "Crystal field disorder effects in the optical spectra of Nd³⁺ and Yb³⁺-doped CLNGG laser crystals and ceramics", *J. Appl. Phys.* **112**, 063110 (2012).
2. V. Lupei, "Pump intensity dependence of emission quantum efficiency in Nd-doped materials", *Rom. Rept. Phys.* **64**, 1291-1306 (2012)
3. A. Lupei, C. Tiseanu, C. Gheorghe, F. Voicu, "Optical Spectroscopy of Sm³⁺ in C₂ and C_{3i} sites in Y₂O₃", *Appl. Phys. B.* **108**, 909-918 (2012)

4. A. Lupei, V. Lupei, C. Gheorghe, „Thermal shifts of Sm³⁺ lines in YAG and cubic sesquioxide ceramics”, *Optical Materials Express*, 3 (10) 1641-1646 (2013) DOI:10.1364/OME.3.001641
5. A. Lupei, V. Lupei, C. Gheorghe, “Electronic structure of Sm³⁺ ions in YAG and cubic sesquioxide ceramics”, *Optical Materials* 36, 419-424 (2013), DOI 10.1016/j.optmat.2013.10.004
6. C. Gheorghe, A. Lupei, F. M. Voicu, C. Tiseanu, Emission properties and site occupation of Sm³⁺ ion doped Lu₂O₃ translucent ceramics, *J. Alloys and Comp.* 10.1016/j.jallcom.2013.11.093
7. V. Lupei, N. Pavel, A. Lupei, “Improved laser efficiency by direct diode laser pumping of the radiation-resistant Nd:Gadolinium-Scandium-Gallium Garnet” (*trimis spre publicare*)

II. CARTI

1. Metodele de investigare si rezultatele obtinute in cadrul proiectului au ajutat la consolidarea concluziilor si identificarea tendintelor generale in domeniu, expuse in cartea, A. Ikesue, Y. L. Yang si V. Lupei, *Ceramic Lasers*, Cambridge Univ. Press. (2013).

III. COMUNICARI LA CONFERINTE INTERNATIONALE

1. V. Lupei, A. Lupei, C. Gheorghe, L. Gheorghe, A. Achim, A. Ikesue, “Nd³⁺ and Yb³⁺ in disordered garnet crystals and ceramics”, ICFE8, 26-31 Aug.2012, Udine, Italy – OPT 26P
2. A. Lupei, C. Tiseanu, C. Gheorghe, F. Voicu, “Spectroscopic analysis of Sm³⁺ in C₂ and C_{3i} sites of Y₂O₃”, ICFE8, Aug. 26-31, 2012, Udine (Italy), OPT 23P
3. A. Lupei, C. Tiseanu, C. Gheorghe, “Electronic structure and energy transfer processes of Sm³⁺ in sesquioxides”, ICOM 2012, 3-6 sept, 2012, Belgrad, Serbia, 144
4. C. Gheorghe, A. Lupei, F. Voicu, C. Tiseanu, „Sm³⁺ emission from different sites in Lu₂O₃ ceramics”, 3rd International Conference on Rare Earth Materials (REMAT) Advances in Synthesis, Studies and Applications, Wroclaw, Poland, 26-28 April 2013
5. F. Voicu, A. Lupei, C. Gheorghe, C. Catalin, M. Dumitru, „Sm doped YAG and sesquioxides transparent ceramics”, International Conference "Modern Laser Applications" Third Edition, INDLAS 2013, 20-24 May 2013, Bran, Romania, O11
6. V. Lupei, “Selfquenching of Emission and Heat Generation in Nd Lasers Revisited”, Poster AM4A.13 Advanced Solid-State Lasers, 27 oct. - 01 nov. 2013, Paris, Franta
7. V. Lupei, A. Lupei, C. Gheorghe, A. Ikesue, “Sensitization processes of Nd³⁺ and Yb³⁺ doped YAG ceramics for broadband pumped lasers”, 9th Laser Ceramics Symposium (LCS), Dec. 2-6, 2013, Daejeon, Korea
8. A. Lupei, V. Lupei, C. Gheorghe, A. Ikesue, F. Voicu, “Thermal effects on Sm³⁺ doped ceramic laser materials for ASE suppression”, Advanced Solid-State Lasers, 27 oct. - 01 nov. 2013, Paris, Franta, Poster AM4A.02
9. V. Lupei, A. Lupei, C. Gheorghe, A. Ikesue, F. Voicu, “Suppression of Nd and Yb ASE by Sm absorption in ceramics”, 9th Laser Ceramics Symposium (LCS), Dec. 2-6, 2013, Daejeon, Korea

IV. REZULTATE NEPUBLICATE

Volumul mare de date noi obtinute vor face obiectul unor publicatii ulterioare, o serie de manuscrise sunt in curs de finalizare.

28.11.2013

Director Proiect
Dr. V. Lupei