

Raport științific

Titlul proiectului: “Procese de conversie superioară infraroșu-infraroșu și infraroșu-ultraviolet în fosfori dopați cu ioni de pământuri rare”

Obiectiv 2015: *Investigarea proprietăților de emisie ale fosforilor dopați cu Ho³⁺ și Yb³⁺.*

REZULTATE OBTINUTE ÎN 2015

În scopul evaluării eficienței fosforilor cu conversie superioară dopați cu ioni de pământuri rare este necesară cunoașterea timpilor de viață radiativi ai nivelurilor implicate în emisie și în transfer de energie. Pentru ionii de pământuri rare, timpii de viață radiativi se calculează cu metoda Judd-Ofelt (MJO) [1,2] utilizând spectrele de absorbție. MJO permite calculul probabilității de tranziție de dipol electric pentru orice tranziție $f-f$, folosind numai trei parametri, $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$ (parametrii JO).

Conform MJO, tăria liniei de dipol electric este legată de aria liniei de absorbție a tranziției prin relația:

$$S_{ed} \left({}^{2S+1}L_J, {}^{2S'+1}L'_{J'} \right) = \sum_{m=2,4,6} \Omega_m \left\langle {}^{2S+1}L_J \left\| U^{(m)} \right\| {}^{2S'+1}L'_{J'} \right\rangle^2 = \frac{9n}{(n^2 + 2)^2} \frac{3ch(2J+1)}{8N_0\pi^3\tilde{\lambda}e^2} \int_{abs.line} k(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

unde $k(\lambda)$ este coeficientul de absorbție iar $\tilde{\lambda}$ valoarea medie a lungimii de undă pe banda de absorbție. Coeficientul de absorbție este definit ca raportul între absorbanta $A(\lambda)$ și grosimea geometrică a probei, d .

În cazul probelor ceramice, datorită împrăștierii luminii transmise, lumina parcurge un drum mai lung $d_{eff} > d$; grosimea efectivă d_{eff} a probei nu este cunoscută și spectrele de absorbție trebuie calibrate. Pentru calibrarea spectrelor de absorbție, am propus două metode:

- pentru probele ceramice dopate cu Tm³⁺, am folosit (a) componenta de dipol magnetic a tranziției ³H₆ → ³H₅ [3], [3]. Probabilitatea de tranziție de dipol magnetic poate fi calculată folosind tăria liniei care este data în literatură [4]. Alternativ, am utilizat (b) timpul de viață măsurat al nivelurilor ¹G₄ sau ³F₄. Datorită benzilor interzise largi de sub aceste niveluri, tranzițiile de pe ¹G₄ sau ³F₄ pot fi considerate pur radiative.

- pentru probele ceramice dopate cu Ho³⁺ am folosit probabilitatea tranziției ⁵I₈ → ⁵I₇ [2]. Datorită benzii interzise largi între ⁵I₇ și ⁵I₈, și această tranziție poate fi considerată pur radiativă iar timpul de viață măsurat dă probabilitatea tranziției ⁵I₈ → ⁵I₇.

- pentru probele ceramice dopate cu Er³⁺, am folosit probabilitatea tranziției ⁴I_{13/2} → ⁴I_{15/2} [1, 4]. Și această tranziție poate fi considerată pur radiativă, banda interzisă între aceste niveluri fiind ~ 6000 cm⁻¹.

Datorită împrăștierii luminii, ecuația (1) devine

$$\sum_{m=2,4,6} \Omega'_m \left\langle {}^{2S+1}L_J \left\| U^{(m)} \right\| {}^{2S'+1}L'_{J'} \right\rangle^2 = \frac{9n}{(n^2 + 2)^2} \frac{3ch(2J+1)}{8N_0\pi^3\tilde{\lambda}e^2 d_{eff}} \int_{abs.line} A(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

Dacă o tranziție are atât o componentă de dipol electric cât și una de dipol magnetic (cum e cazul tranziției ³H₆ → ³H₅ a Tm³⁺), atunci

$$S_{ed} \left({}^3H_6, {}^3H_5 \right) = \frac{9n}{(n^2 + 2)^2} \left[\frac{3ch(2J+1)}{8N_0\pi^3\tilde{\lambda}e^2} \int_{abs.line} k(\lambda) d\lambda - nS_{md} \left({}^3H_6, {}^3H_5 \right) \right] \quad (3)$$

unde S_{md} este tăria tranziției de dipol magnetic. Aceasta depinde slab de materialul utilizat și este tabelată [4].

Examinând Eq. (2), putem grupa constantele definind un parametru $K = 3ch(2J+1)/8\pi^3e^2N_0d_{eff}$ iar Eq. (2) devine:

$$\sum_{m=2,4,6} \Omega'_m \left\langle {}^{2S+1}L_J \left\| U^{(m)} \right\| {}^{2S'+1}L'_{J'} \right\rangle^2 = \frac{9n}{(n^2 + 2)^2} \int_{abs.line} A(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

cu $\Omega'_m = \Omega_m/K$. Parametrii Ω'_m sunt rezultatul ecuației matriciale $\mathbf{\Omega}' = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{B}$ unde \mathbf{A} este matricea sistemului (1) iar \mathbf{B} sunt termenii liberi.

Constanta K este determinată din expresia probabilității de tranziție pentru tranziția aleasă pentru calibrare. Exemplificăm pentru tranziția ⁴I_{13/2} → ⁴I_{15/2} a Er³⁺:

$$A_{ed} \left({}^4I_{13/2}, {}^4I_{15/2} \right) = \frac{64\pi^4 e^2}{3h(2J+1)\lambda^3} \frac{n(n^2+2)^2}{9n} \sum_{m=2,4,6} \Omega'_m K \left\langle {}^4I_{13/2} \left\| U^{(m)} \right\| {}^4I_{15/2} \right\rangle^2 \quad (5)$$

Timpul de viață radiativ al nivelului ⁴I_{13/2} (considerat egal cu timpul de viață măsurat) este dat de $1/\tau_{rad} \left({}^4I_{13/2} \right) = A_{ed} \left({}^4I_{13/2}, {}^4I_{15/2} \right) + A_{md} \left({}^4I_{13/2}, {}^4I_{15/2} \right)$, unde $A_{md} \left({}^4I_{13/2}, {}^4I_{15/2} \right)$ este probabilitatea de dipol magnetic, care poate fi calculată [5]. Comparând această relație cu Eq. (5), rezultă valoarea constantei K și valorile parametrilor JO.

În Fig. 1 este dat spectrul de absorbție al Tm^{3+} într-o probă ceramică de $CaSc_2O_4$ [3]. Sunt puse în evidență 5 benzi de absorbție. În afară de ${}^3H_6 \rightarrow {}^3H_5$, toate celelalte tranziții din Fig. 1 sunt de dipol electric. În urma analizei JO, utilizând spectrul din Fig. 1 calibrat cu componenta de dipol magnetic a tranziției ${}^3H_6 \rightarrow {}^3H_5$, Eq. (3) au rezultat următorii parametri JO: $\Omega_2 = 1.55 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.71 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_6 = 0.98 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$. Folosind calibrarea cu timpul de viață al nivelului 1G_4 , am obținut: $\Omega_2 = 1.70 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.84 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ și $\Omega_6 = 1.13 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$. În fine, calibrând cu timpul de

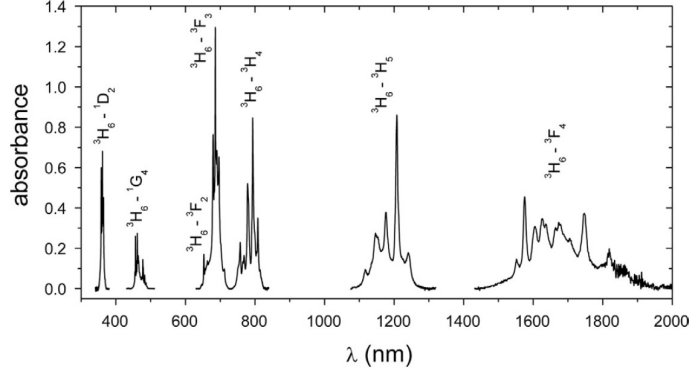


Fig. 1. Spectrul de absorbție al Tm^{3+} în $CaSc_2O_4: Tm(4\%)$ [3].

viață al nivelului 3F_4 , avem $\Omega_2 = 1.57 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.70 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ și $\Omega_6 = 1.04 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$. Valorile obținute sunt destul de apropiate. Cu ajutorul lor, am calculat timpii de viață radiativi: $\tau_{rad}({}^1D_2) = 33 \div 36 \text{ } \mu\text{s}$, $\tau_{rad}({}^1G_4) = 362 \div 410 \text{ } \mu\text{s}$, $\tau_{rad}({}^3F_2) = 582 \div 656 \text{ } \mu\text{s}$, $\tau_{rad}({}^3F_3) = 287 \div 320 \text{ } \mu\text{s}$, $\tau_{rad}({}^3H_4) = 699 \div 779 \text{ } \mu\text{s}$, $\tau_{rad}({}^3H_5) = 2404 \div 2610 \text{ } \mu\text{s}$ și $\tau_{rad}({}^3F_4) = 4007 \div 4367 \text{ } \mu\text{s}$. Cu ajutorul lor am estimat eficiența cuantică a nivelului 1G_4 , responsabil pentru emisia în albastru: $\eta = \tau_{exp} / \tau_{rad} = 0.91 \div 1.00$. Metoda bazată pe utilizarea componentei de dipol magnetic a tranziției ${}^3H_6 \rightarrow {}^3H_5$ nu necesită măsurători suplimentare pentru calibrare care pot introduce erori suplimentare.

Spectrul de absorbție al Ho^{3+} în $CaSc_2O_4: Ho(2\%)$ (ceramic) este dat în Fig. 2. Sunt evidențiate 10 benzi de absorbție care vor fi utilizate în analiza JO. Deoarece grosimea efectivă a probei nu este cunoscută, spectrul de absorbție a fost calibrat utilizând probabilitatea tranziției ${}^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$ pe care am determinat-o măsurând timpul de viață al acestei tranziții (Fig. 3). Pentru concentrații mici de Ho^{3+} (când efectele reabsorbției sunt neglijabile), timpul de viață măsurat poate fi considerat egal cu timpul de viață radiativ. Pentru 0.1% Ho^{3+} , timpul de viață măsurat este 5200 μs .

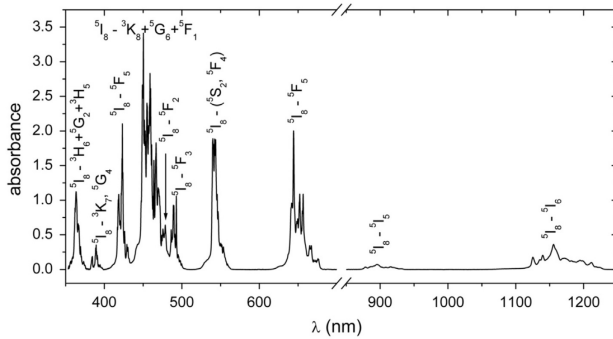


Fig. 2. Spectrul de absorbție al Ho^{3+} în $CaSc_2O_4: Ho(2\%)$ [2].

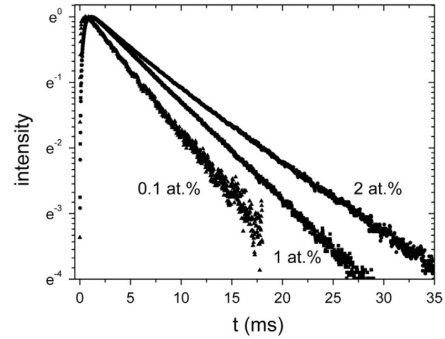


Fig. 3. Cinetica nivelului 5I_7 în $CaSc_2O_4: Ho$ pentru trei concentrații [2].

În urma calibrării spectrului de absorbție cu timpul de viață al nivelului 5I_7 (5200 μs), au rezultat următorii parametri JO: $\Omega_2 = 3.78 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 5.17 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ și $\Omega_6 = 1.92 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$. Au fost calculați timpii de viață radiativi: $\tau_{rad}({}^5F_4) = 91.42 \text{ } \mu\text{s}$, $\tau_{rad}({}^5S_2) = 208.20 \text{ } \mu\text{s}$, $\tau_{rad}({}^5F_5) = 147.73 \text{ } \mu\text{s}$ și $\tau_{rad}({}^5I_6) = 2285.20 \text{ } \mu\text{s}$. Nivelurile responsabile pentru emisia în verde (5F_4 , 5S_2) sunt termalizate cu $\Delta E \approx 90 \text{ cm}^{-1}$ [6]. Utilizând relația [7] pentru timpul de viață comun

$$\tau_{rad}^{-1}({}^5F_4, {}^5S_2) = \frac{9\tau_{rad}^{-1}({}^5F_4)\exp(-\Delta E/k_B T) + 5\tau_{rad}^{-1}({}^5S_2)}{9\exp(-\Delta E/k_B T) + 5} \quad (6)$$

unde 9 și 5 sunt degenerările nivelurilor 5F_4 și 5S_2 , obținem pentru timpul de viață comun 127 μs .

Eficiențele cuantice ale nivelurilor luminescente ale Ho^{3+} calculate ca raport între timpul de viață măsurat și timpul de viață radiativ sunt: $\eta({}^5F_4, {}^5S_2) = 67/127 \approx 0.53$, $\eta({}^5F_5) = 8.6/147.73 \approx 0.06$ și $\eta({}^5I_6) = 1300/2285.20 \approx 0.57$. Remarcăm o eficiență cuantică mai mare de 50% pentru nivelurile (5F_4 , 5S_2) (emisie în verde la $\sim 450 \text{ nm}$) și 5I_6 (emisie în IR, la $\sim 1200 \text{ nm}$).

Lucrările [1, 5] au fost dedicate analizei posibilității aplicării MJO pentru probele ceramice ($\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ și CaSc_2O_4) dopate cu Er^{3+} . În ambele lucrări, calibrarea spectrului de absorbție s-a făcut utilizând timpul de viață al nivelului $^4\text{I}_{13/2}$.

În Fig. 4 este dat spectrul de absorbție al Er^{3+} în $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ ceramic, pentru trei grosimi [1]. Pentru a fi mai ușor de comparat, absorbția a fost împărțită la grosimea efectivă a probei. Analizând Fig. 4, remarcăm

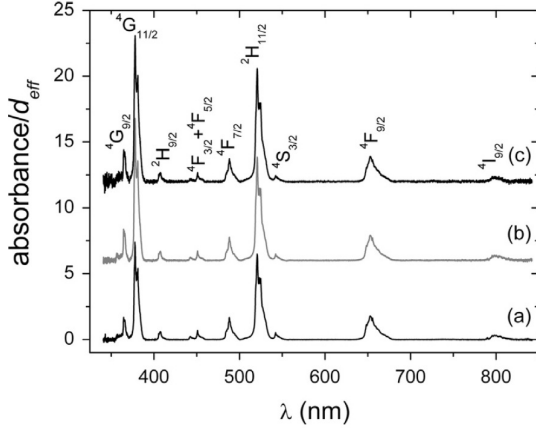


Fig. 4. Spectrul de absorbție al Er^{3+} în $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ pentru probe ceramice cu trei grosimi: (a) 0.68 mm, (b) 0.38 mm și (c) 0.24 mm [1].

mai puțin afectat de împrăștierea luminii în probele ceramice.

În Fig. 5 este dată cinetica nivelului $^4\text{I}_{13/2}$ în $\text{Er}(0.1\%)$: $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$: diluat în KBr pentru a reduce efectul reabsorbției. Valoarea timpului de viață este 5365 μs .

În urma analizei JO au rezultat următoarele valori pentru timpii de viață radiativi (pentru proba de 0.24 mm grosime, pentru care erorile sunt cele mai mici): $\tau_{\text{rad}}(^2\text{H}_{11/2}, ^4\text{S}_{3/2}) = 450.66 \mu\text{s}$ și $\tau_{\text{rad}}(^4\text{F}_{9/2}) = 448.16 \mu\text{s}$. Comparând cu valorile experimentale ale timpilor de viață ($\tau_{\text{exp}}(^2\text{H}_{11/2}, ^4\text{S}_{3/2}) = 160 \mu\text{s}$, $\tau_{\text{exp}}(^4\text{F}_{9/2}) = 11 \mu\text{s}$ [8]), rezultă $\eta(^2\text{H}_{11/2}, ^4\text{S}_{3/2}) = 160/450.66 \approx 0.36$, $\eta(^4\text{F}_{9/2}) = 11/448.16 \approx 0.06$.

Spectrul de absorbție al Er^{3+} în CaSc_2O_4 este prezentat în Fig. 6 [4]. Pentru minimizarea efectelor de împrăștiere a luminii, grosimea probei a fost redusă la limita permisă (0.1 mm) de proprietățile mecanice ale materialului. Au fost folosite 10 benzi de absorbție (vezi Fig. 6). Calibrarea spectrului de absorbție s-a făcut cu timpul de viață al nivelului $^4\text{I}_{13/2}$. Pentru

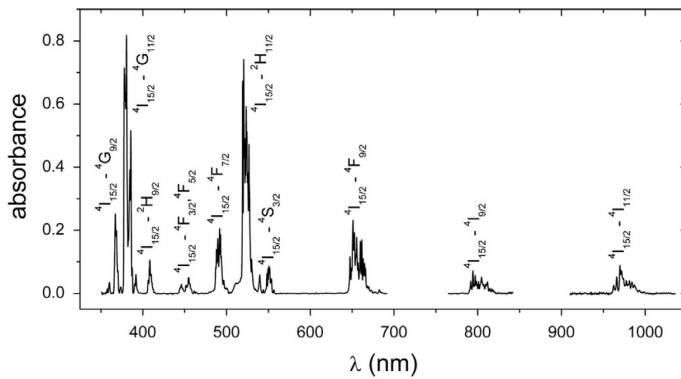


Fig. 6. Spectrul de absorbție al Er^{3+} : $\text{CaSc}_2\text{O}_4:\text{Er}(2\%)$. $d = 0.1 \text{ mm}$.

modificarea contrastului între liniile de absorbție intense și mai puțin intense pe măsură ce grosimea probei scade. Parametrii JO obținuți sunt afectați de grosimea probei. Astfel, pentru $d = 0.68 \text{ mm}$, $\Omega_2 = 2.45 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.52 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ și $\Omega_6 = 0.65 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, pentru $d = 0.38 \text{ mm}$ $\Omega_2 = 3.13 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.60 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ și $\Omega_6 = 0.63 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ iar pentru $d = 0.24 \text{ mm}$ $\Omega_2 = 3.34 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.49 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ și $\Omega_6 = 0.64 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$. Observăm că Ω_2 se schimbă vizibil cu grosimea probei pe când Ω_6 rămâne practic neschimbat. În [1] am arătat că Ω_2 depinde de tranzițiile intense din spectrul de absorbție pe când Ω_4 și Ω_6 depind de tranzițiile mai puțin intense.

În Fig. 4, tranzițiile intense sunt mai afectate de modificarea grosimii (adică de împrăștierea luminii) decât cele mai puțin intense.

Probabilitatea tranziției de dipol electric ($^2\text{H}_{11/2}, ^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, responsabilă pentru luminescența verde, depinde în principal de Ω_6 , parametrul JO cel

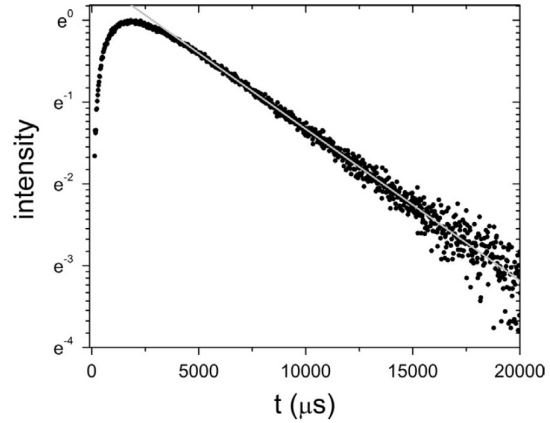


Fig. 5. Cinetica nivelului $^4\text{I}_{13/2}$ în $\text{Er}(0.1\%)$: $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$: diluat în KBr. Simboluri: experiment; linia continuă gri: fit exponențial

reducerea efectelor de reabsorbție, acesta a fost determinat pentru o probă de $\text{CaSc}_2\text{O}_4:\text{Er}(0.1\%)$ diluată cu KBr. S-a obținut $\tau(^4\text{I}_{13/2}) = 4720 \mu\text{s}$.

Au fost obținute următoarele valori ale parametrilor JO: $\Omega_2 = 3.88 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.83 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ și $\Omega_6 = 0.83 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$.

Timpii de viață radiativi au valorile $\tau_{\text{rad}}(^2\text{H}_{11/2}, ^4\text{S}_{3/2}) = 404 \mu\text{s}$, $\tau_{\text{rad}}(^4\text{F}_{9/2}) = 402 \mu\text{s}$ și $\tau_{\text{rad}}(^4\text{I}_{11/2}) = 4227 \mu\text{s}$. Comparând cu timpii de viață experimentali ($\tau_{\text{exp}}(^2\text{H}_{11/2}, ^4\text{S}_{3/2}) = 187 \mu\text{s}$, $\tau_{\text{exp}}(^4\text{F}_{9/2}) = 60 \mu\text{s}$ [9], $\tau_{\text{exp}}(^4\text{I}_{11/2}) =$

2026 μs), au rezultat valorile eficienței cuantice: $\eta(^2H_{11/2}, ^4S_{3/2}) = 187/404 \approx 0.46$, $\eta(^4F_{9/2}) = 60/402 \approx 0.15$ și $\eta(^4I_{11/2}) = 2026/4227 \approx 0.48$. Comparând cu valorile obținute pentru $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}:\text{Er}$, valorile eficiențelor cuantice obținute pentru $\text{CaSc}_2\text{O}_4:\text{Er}$ sunt superioare. Aceasta poate fi explicat prin prezența fononilor de energie mai mică în CaSc_2O_4 (540 cm^{-1} /10/) în raport cu $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ (778 cm^{-1} /11/).

Valorile eficienței cuantice au fost obținute pentru probe puțin concentrate. Datorită proceselor de relaxare încrucișată, timpul de viață al nivelelor ($^2H_{11/2}$, $^4S_{3/2}$) scade cu concentrația de erbiu. În Fig. 7 sunt date curbele de decay pentru cinci concentrații de Er^{3+} . Curbele continue (cu gri) reprezintă fit cu ecuația Inokuti-Hirayama /12/ pentru interacția dipol-dipol:

$$I(t) = I_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_0} - \gamma\sqrt{t}\right) \quad (7)$$

cu $\gamma = (4/3)\pi^{3/2}N_0\sqrt{C_{DA}}$, C_{DA} fiind microparametrul transferului de energie donor-acceptor. În medalionul Fig. 7 este dată dependența lineară a parametrului γ de concentrația de Er^{3+} . Valoarea parametrului C_{DA} este $6.7 \times 10^{-39} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$.

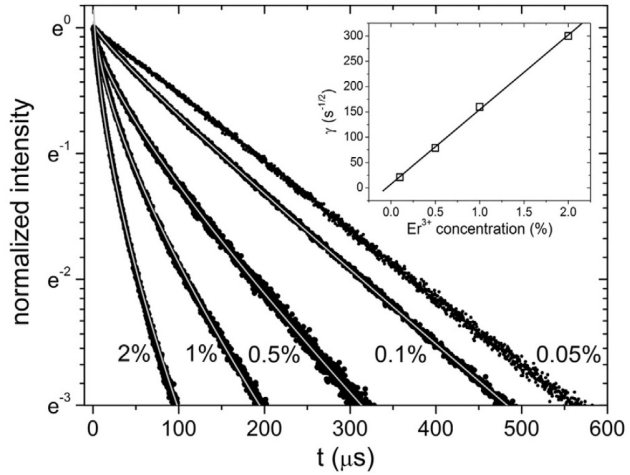


Fig. 7. Cinetica nivelelor ($^2H_{11/2}$, $^4S_{3/2}$) în CaSc_2O_4 .

Procesele de conversie superioară în probe ceramice de $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ dopate cu Er^{3+} (1%) și Yb^{3+} (3%) au fost studiate în [5]. În Fig. 8, este arătat spectrul de luminescență excitat prin conversie superioară (la 980 nm). Sunt identificate tranzițiile responsabile pentru emisia în verde ($^5S_2, ^5F_4 \rightarrow ^5I_8$) și în roșu ($^5F_5 \rightarrow ^5I_8$).

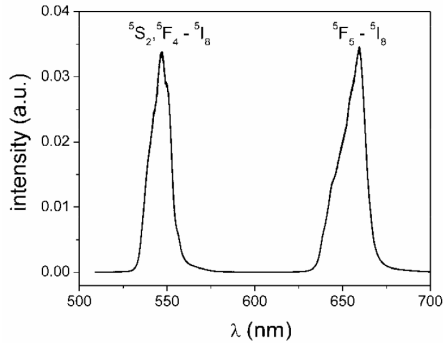


Fig. 8. Spectrul de luminescență al $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}:\text{Er}(1\%):\text{Yb}(3\%)$ excitat prin conversie superioară la 980 nm.

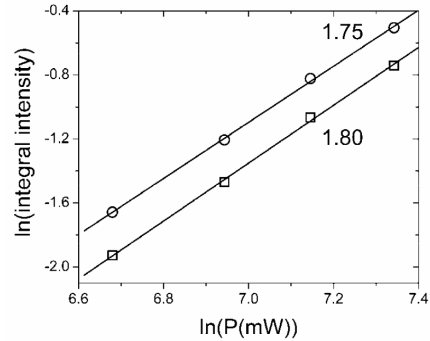


Fig. 9. Reprezentarea dublu logaritmică a intensității luminescenței în funcție de intensitatea pompajului la 980 nm. \square – emisia în verde; \circ – emisia în roșu.

În Fig. 9 am reprezentat, în scară dublu logaritmică, dependența intensității luminescenței de intensitatea pompajului incident la 980 nm. Pentru ambele benzi de emisie panta este ~ 2 , ceea ce denotă procese de doi fotoni. Se observă, de asemenea, că intensitatea emisieii în roșu ($^5F_5 \rightarrow ^5I_8$) este mai mare decât intensitatea emisieii în verde ($^5S_2, ^5F_4 \rightarrow ^5I_8$).

Concluzii

- A fost extinsă metoda Judd-Ofelt pentru probe ceramice care, datorită structurii lor granulare, împrăștie lumina transmisă prin probă.
- Pentru calibrarea spectrelor de absorbție, s-au folosit două abordări: (i) utilizarea tăriei liniei de dipol magnetic pentru tranziția $^3H_6 \rightarrow ^3H_5$ a Tm^{3+} , care este tabelată; (ii) timpul de viață măsurat al unui nivel metastabil care poate fi considerat egal cu timpul de viață radiativ, datorită gap-ului energetic mare dintre acest nivel și nivelul următor.
- Timpii de viață radiativi au fost comparați cu cei experimentali și au fost astfel estimate eficiențele cuantice ale nivelurilor emițătoare.

- Metodele de calibrare propuse pot fi aplicate și pentru materiale transparente (sticle, cristale, ceramici transparente, fără împrăștiere a luminii), pentru care grosimea probei este cunoscută, dar concentrația de ioni activatori nu este cunoscută precis. Se evită, astfel, erorile de măsurare a concentrației.
- Pentru $\text{CaSc}_2\text{O}_4:\text{Er}$ au fost analizate cantitativ procesele de relaxare încrucișată în care sunt implicate nivelurile cu emisie în verde și a fost determinat microparametrul de transfer de energie dipol-dipol.
- În cazul luminescenței excitate prin conversie superioară în $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ dopat cu Er^{3+} și Yb^{3+} , popularea nivelurilor luminescente ($^3\text{S}_2$, $^5\text{F}_4$) și $^5\text{I}_8$ se face prin procese de doi fotoni.

Rezultatele obținute în cadrul acestei etape au fost publicate în următoarele lucrări:

- [1] S. Georgescu, A. Ștefan, A.M. Voiculescu, O. Toma, “Judd–Ofelt analysis of ceramic $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ doped with Er^{3+} ”, *J. Lumin.* **162** (2015) 168-173.
- [2] S. Georgescu, A. Ștefan, O. Toma, A.M. Voiculescu, “Judd–Ofelt analysis of Ho^{3+} doped in ceramic CaSc_2O_4 ”, *J. Lumin.* **162** (2015) 174-179.
- [3] S. Georgescu, A. Ștefan, A.M. Voiculescu, O. Toma, “Judd–Ofelt analysis of Tm^{3+} doped in CaSc_2O_4 ceramic samples”, *J. Lumin.* **166** (2015) 130-136.
- [4] S. Georgescu, A. Ștefan, O. Toma, “Judd–Ofelt and energy-transfer analysis of Er^{3+} doped in CaSc_2O_4 ceramic samples”, *J. Lumin.* **167** (2015) 186-192.
- [5] A.M. Voiculescu, S. Georgescu, C. Matei, A. Ștefan, O. Toma, “Synthesis and characterization of $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ doped with holmium and ytterbium”, *Romanian J. Phys.* **60** (2015) 495-501.

A fost prezentată o lucrare la Conferința Internațională “THE 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED MATERIALS, ROCAM 2015”, București, 7-10 iulie 2015

- [6] A. Ștefan, S. Georgescu, O. Toma, C. Matei, “Upconversion luminescence in CaSc_2O_4 codoped with Er^{3+} and Yb^{3+} ” (prezentare orală).

În cursul anului 2015, un membru al echipei de cercetare (Elena-Cristina Matei) a susținut teza de doctorat cu teza “Procese de luminescență în fosfori cu conversie superioară în infraroșu și vizibil” (conducător științific Dr. Șerban Georgescu, directorul proiectului). (Teza poate fi accesată la adresa: ecs.inflpr.ro/publications/PhD_Cristina-Elena_Matei.pdf). De asemenea, un alt membru al echipei de cercetare (Angela Ștefan) se află într-o fază avansată a finalizării tezei de doctorat, care va fi susținută public în anul viitor.

Referințe

- /1/. B.R. Judd, *Phys. Rev.* **127** (1962) 750.
- /2/. G.S. Ofelt, *J. Chem. Phys.* **37** (1962) 511.
- /3/. S. Georgescu, O. Toma, C. Matei, A.M. Voiculescu, A. Ștefan, *J. Lumin.* **157** (2015) 35.
- /4/. N. Spector, R. Reisfeld, L. Boehm, *Chem. Phys. Lett.* **49** (1977) 49.
- /5/. K. Tanimura, M.D. Shinn, W.A. Sibley, M.G. Drexhage, R.N. Brown, *Phys. Rev. B* **30** (1984)2429.
- /6/. C.M. Dodson, R. Zia, *Phys. Rev. B* **86** (2012) 125102.
- /7/. R. Reisfeld, G. Katz, N. Spector, C.K. Jørgensen, C. Jacoboni, R. DePape, *J. Solid State Chem.* **41** (1982) 253.
- /8/. S. Georgescu, O. Toma, A.M. Voiculescu, C. Matei, R. Birjega, L. Petrescu, *Physica B* **407** (2012) 1124.
- /9/. A. Ștefan, C. Matei, O. Toma, S. Georgescu, (va fi publicat).
- /10/. J. Li, J. Zhang, Z. Hao, X. Zhang, J. Zhao, Y. Luo, *Appl. Phys. Lett.* **101** (2012) 121905.
- /11/. R. Lisiecki, W. Ryba-Romanowski, L. Macalik, J. Komar, M. Berkowski, *Appl. Phys. B* **116** (2014) 183.
- /12/. M. Inokuti, F. Hirayama, *J. Chem. Phys.* **43** (1965) 1978.

Director Proiect
Dr. Șerban Georgescu