

## *Raport stiintific privind implementarea proiectului*

cu titlul: „Molecule comutabile folosite în nanoelectronică și spintronică - SwitchElec.”

Nr. Contract: 9RO-FR/01.02.2013

Perioada: Ianuarie-Decembrie 2014

Coordonatori: conf. univ. dr. Aurelian ROTARU (USV)

dr. Azzedine BOUSSEKSOU (LCC)

### **Introducere**

Acest proiect are ca obiectiv principal investigarea transportului de sarcină în sistemele moleculare cu tranziție de spin cu dimensiuni nanometrice. Pe baza complementarității celor două grupuri de cercetare (**Partener 1** – LCC, CNRS-Toulouse și **Partener 2** - Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava), propunem să realizăm o analiză profundă a dependenței proprietăților electrice în funcție de starea de spin a sistemelor moleculare cu tranziție de spin, la diferite nivele ale dimensiunii acestora. În acest scop, vom folosi cele mai noi tehnici ale nanotehnologiei pentru a integra, într-o manieră controlată, diferite nanoparticule cu tranziție de spin în dispozitive nanoelectronice, cu scopul de a explora proprietățile electrice, plecând de la scară macroscopică spre dimensiuni nanometrice. Principalele obiective prevăzute în cadrul acestui proiect constau în: (i) studiul transportului de sarcină atât în sisteme de particule, cât și prin particule unice; (ii) studiul proprietăților electrice în regim dinamic, pentru o mai bună înțelegere a mecanismului de transport, (iii) studiul efectului aplicării unei perturbații externe (temperatură, lumină, câmp electric, câmp magnetic sau presiune) asupra mecanismului de transport.

### **Gradul de acoperire a obiectivelor**

Pe parcursul acestui an, ne-am propus investigarea proprietăților electrice în regim dinamic a sistemelor cu tranziție de spin (în stare pură sau diluate cu centri metalici pasivi), a efectului aplicării unei perturbații externe, în plus față de temperatură, cum ar fi : câmpul electric sau lumină, asupra sistemelor de particule cu tranziție de spin. De asemenea, a fost efectuată o analiză detaliată asupra stabilității dispozitivelor electronice elaborate pe bază de nanoparticule cu tranziție de spin.

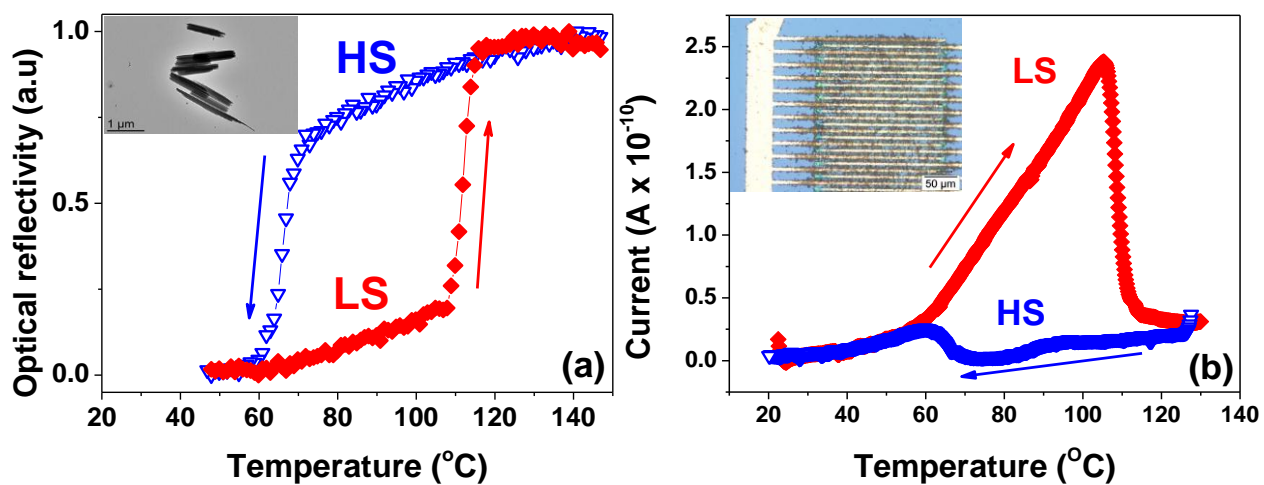
De la începerea proiectului, obiectivele propuse au fost realizate în proporție de 60%, fiind în grafic cu toate activitățile prevăzute.

#### **1. Efectul luminii**

Efectul luminii asupra proprietăților de transport ale sistemelor cu tranziție de spin a fost analizat prin iradierea micro-particulelor cu tranziție de spin  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$ , organizate prin dielectroforeză, pe rețele de electrozi interdigitali din aur. Prin iradierea dispozitivului cu diferite lungimi de undă (cuprinse în gama spectrală 295 nm - 655 nm), atât în aer cât și în atmosferă inertă (azot), am observat prezența a două efecte distincte asupra fotocurentului. Primul efect este reversibil și constă în descreșterea abruptă a intensității curentului (între 10% și 50%) atunci când

dispozitivul este iluminat intermitent (folosind un timp de expunere relativ mare, de ordinul minutelor). Cel de-al doilea efect este ireversibil și constă într-o creștere constantă, în timp, a curentului electric, efect ce persistă și în întuneric, după iradierea inițială a dispozitivului. Aceste fenomene foto-induse au fost detectate în starea low spin (LS) caracterizată de o conductivitate mai mare, în comparație cu starea high spin (HS). Odată cu comutarea termică a dispozitivului elaborat, din starea LS în starea HS, conductivitatea acestuia scade brusc, iar efectul iradierii cu radiație electromagnetică nu mai este vizibil. Acest aspect este discutat mai detaliat mai jos.

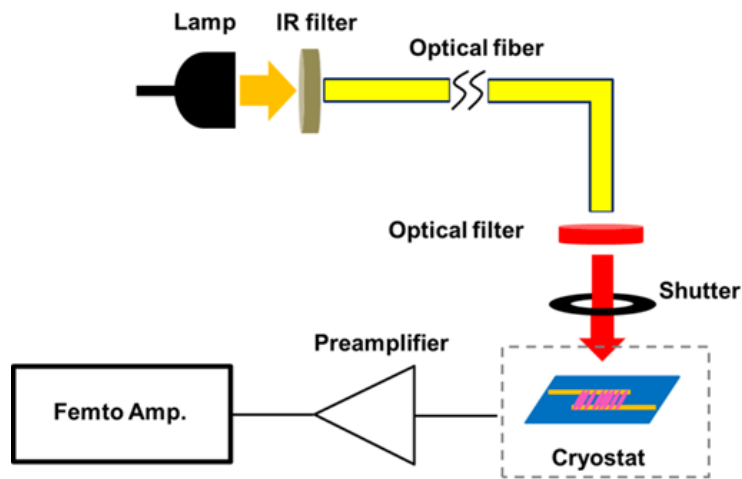
Dispozitivul electronic a fost construit folosind particule cu formă alungită ale compusului cu tranziție de spin  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$ . Acestea au fost sintetizate după metoda descrisă de Rotaru et. al. [1], fără a utiliza surfactanți, pentru a avea acces direct la proprietățile electrice ale materialului pur cu tranziție de spin. Proprietățile optice ale materialului au fost înregistrate prin reflectivitate difuză, determinând temperaturile de tranziție din starea LS în starea HS la 110 °C, respectiv tranziția HS → LS la 66 °C (figura 1a).



**Figura 1.** (a) Dependența termică a reflectivității optice ale particulelor. Inserția reprezintă imaginea TEM a micro-particulelor. (b) Dependența termică a curentului electric ( $U = 20\text{V}$ ) atât pe ramura termică ascendentă, cât și pe cea descendentă. Inserția ilustrează electrozii interdigitali cu particule organizate între electrozii.

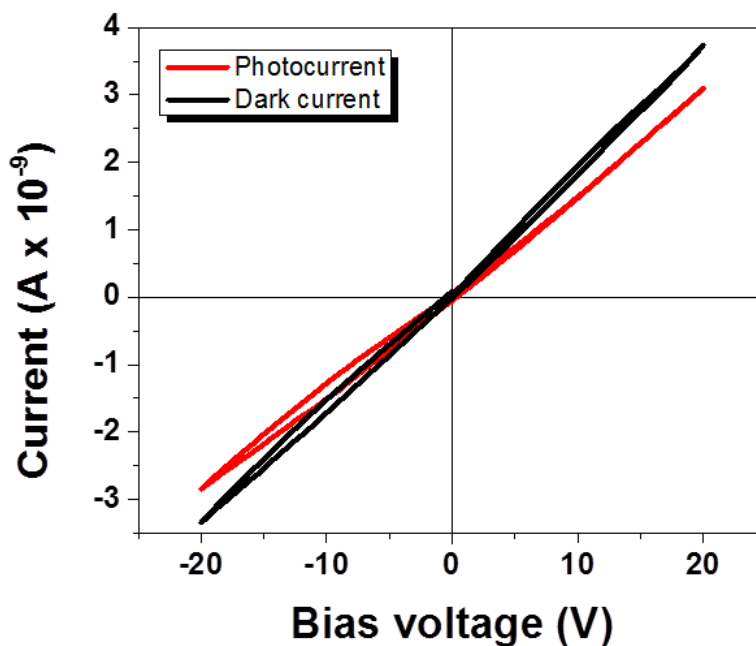
Proprietățile electrice sunt în bună concordanță cu rezultatele publicate recent [1-3], prezentând o activare termică puternică a conductivității electrice, în starea LS, temperaturile de tranziție în cele două stări de spin fiind similare cu cele obținute prin măsurători optice.

Platforma experimentală pentru studierea efectului luminii asupra proprietăților electrice este dezvoltată în *Laboratorul de Materiale Avansate și Nanotehnologii (AMNOL)* din cadrul Universității „Ștefan cel Mare” din Suceava (USV), fiind reprezentată schematic în figura 2. Aceasta constă într-o lampă cu Xe de 100W, un filtru IR (pentru a evita încălzirea eșantionului), fibră optică, filtre interferențiale cu diferite lungimi de undă (295 nm, 400 nm, 550 nm, 665 nm) și un obturator mecanic. Dispozitivul a fost amplasat într-un criostat optic, echipat cu contacte electrice, conectate la un femto-ampmetru (model Keithley 6400).



**Figura 2.** Reprezentare schematică a experimentului pentru măsurarea fotocurentului în temperatură variabilă.

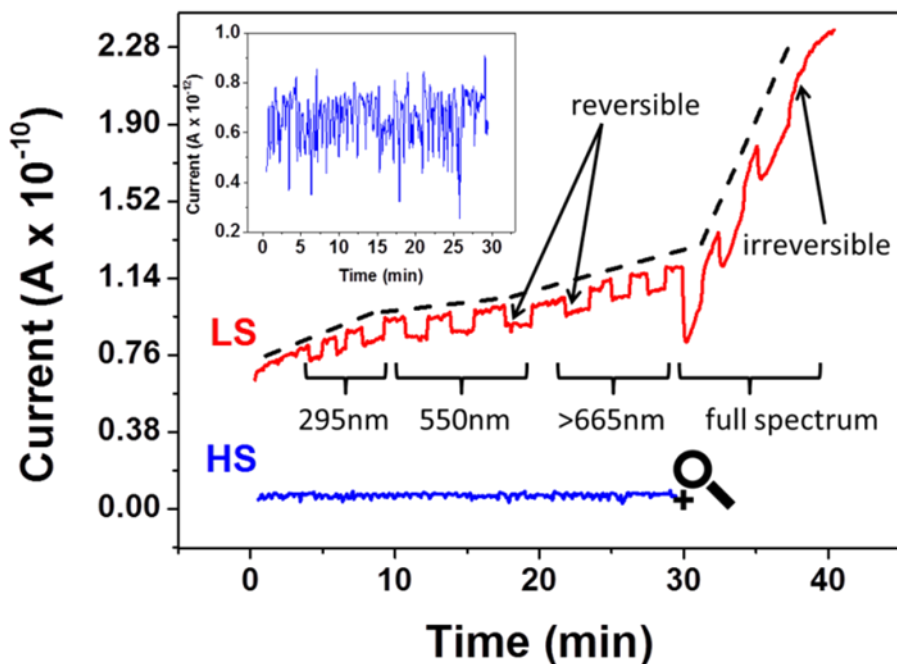
Caracteristicile curent – tensiune, înregistrate pe dispozitivul elaborat, în cele două stări de spin, sunt ilustrate în figura 3. Aceste caracteristici au fost înregistrate la 95 °C (în starea LS) atât în întuneric (curba neagră), cât și sub iradiere electromagnetică (curba roșie). În ambele cazuri putem observa un răspuns ohmic al dispozitivului, și o intensitate a curentului inferioară (rezistență mai mare) în cazul caracteristicii înregistrate sub iradiere luminoasă.



**Figura 3.** Caracteristici I-V ale dispozitivului, înregistrate în întuneric și sub iradiere luminoasă înregistrate la 95 oC în starea LS.

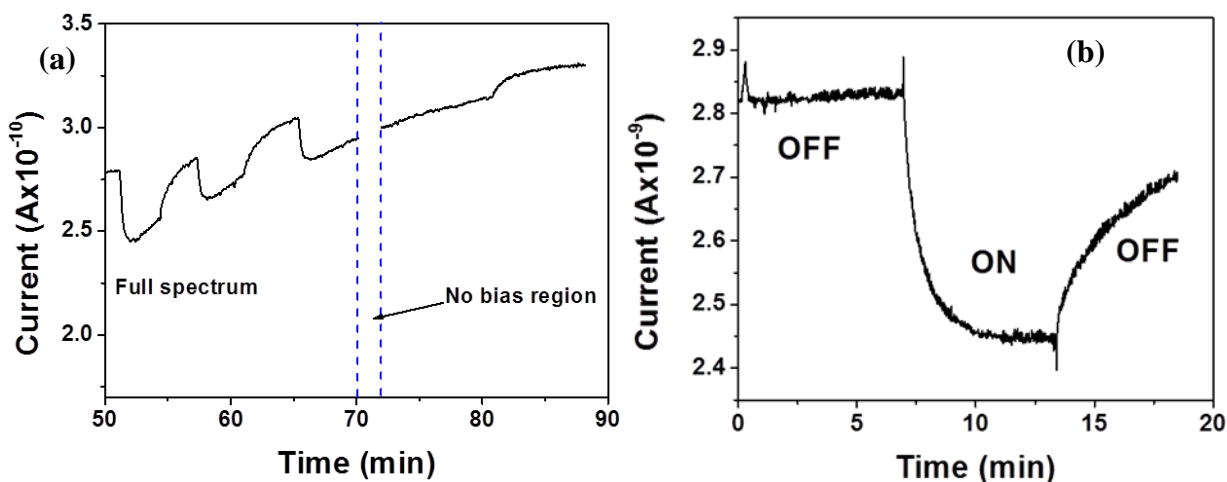
Efectul luminii a fost studiat în interiorul ciclului de histeresis la diferite temperaturi, unde dispozitivul electronic a fost iradiat cu diferite lungimi de undă. Figura 4 ilustrează răspunsul tipic al sistemului sub iluminare la 95 °C în stările LS și HS. Aceste experimente au fost efectuate pe mai multe seturi de electrozi, obținându-se rezultate similare în fiecare caz. Fotocurentul înregistrat în starea LS prezintă două efecte distincte. Pe de o parte am observat un efect reversibil ce constă în scăderea intensității curentului electric în timpul iradierii. Procentul scăderii curentului variază în funcție de lungimea de undă și variază în jurul valorii de 15%, iar timpul de

răspuns al dispozitivului este relativ scăzut (aprox. 15 s). Cel de-al doilea efect observat este un efect foto-electric ireversibil care prezintă o creștere constantă în timp și care persistă și în lipsa iluminării. Când iluminarea este întreruptă, curentul continuă să crească pe o perioadă relativ lungă (zeci de minute). A fost verificat faptul că acest fenomen nu este legat de tensiunea aplicată, deoarece aceeași tendință a fost observată și după ce tensiunea de polarizare a fost zero (figura 5a).



**Figura 4.** Curentul măsurat la iradierii luminoase repetate (20V). Datele au fost înregistrate la 95 oC în aer, atât în starea LS cât și în starea HS. Inserția reprezintă o reprezentare detaliată a curentului în starea HS.

În starea LS ambele efecte (reversibil/ireversibil) sunt observabile. De asemenea, am verificat ca acest efect ireversibil nu este vizibil atunci când dispozitivul a fost ținut în întuneric (figura 5b).

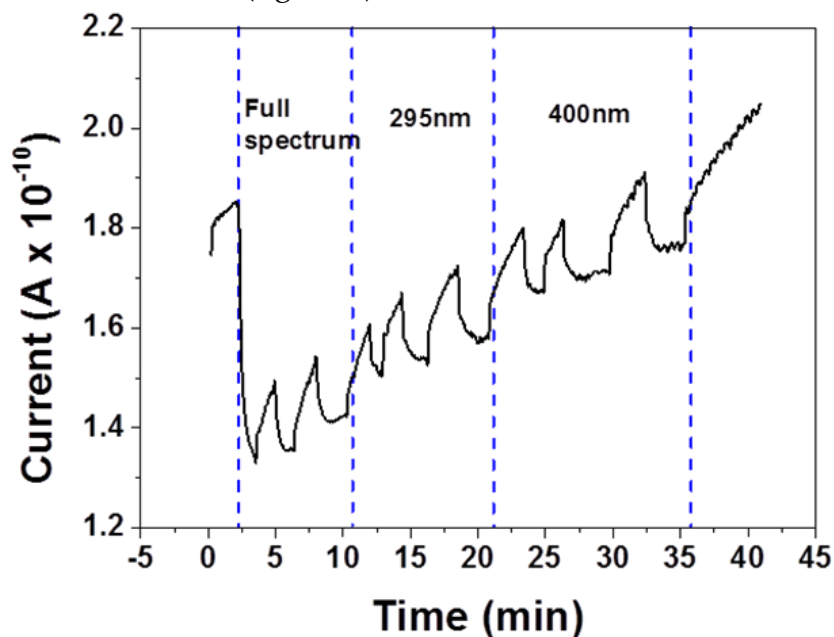


**Figura 5.** (a) Variația fotocurentului înregistrat la 95 oC în timpul iradierii electromagnetice (full spectrum).

Între minutul 70 și 72 tensiunea a fost închisă. Tendința ascendentă a curentului electric nu a fost modificată prin închiderea tensiunii. (b) Intensitatea curentului măsurată în succesiunea întuneric (OFF) – iluminat (ON) – întuneric (OFF) în starea LS la 95 oC. Tendința ascendentă a curentului nu este prezentă în prima secvență OFF. La aplicarea luminii (ON) curentul scade abrupt, iar la oprirea iradierii (OFF) curentul crește gradual.

În starea HS, la aceeași temperatură (95 °C) efectul luminii nu a fost observat. Astfel, intensitatea curentului măsurat în starea HS (7 pA) este foarte mic comparat cu intensitatea curentului înregistrat în LS (100 pA), și ținând cont că valoarea zgomotului este de aprox. 1 pA, nu putem detecta cu precizie variații ale curentului <40%. Cu alte cuvinte, dacă există un fotocurent în starea HS acesta este mascat de zgomot. Scăderea intensității curentului electric a fost investigat în starea LS și la alte temperaturi, obținându-se descreșteri ale curentului de 0%, 4.4%, 7.5% și 4.0% la 20, 70, 90, respectiv 110 °C (110 °C se află pe tranziția din starea LS în HS). Având în vedere aceste rezultate, putem afirma că există o corelare între intensitatea curentului și magnitudinea efectului fotoelectric. Cum concentrația purtătorilor de sarcină nu variază cu temperatura [1], putem concluziona că acest efect este datorat mobilității purtătorilor de sarcină. Lungimile de undă utilizate în experimentul prezentat în figura 4 au fost selectate pe baza unor proprietăți specifice ale compusului cu tranziție de spin utilizat. Este bine cunoscut faptul că complexul  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  prezintă o bandă de absorbție a purtătorilor de sarcină la 280 nm, și o altă bandă de absorbție datorată câmpului de ligand la 550 nm în starea LS. În starea HS compusul prezintă o bandă de absorbție slabă în regiunea IR (700-800 nm). Cu toate acestea nu am reușit să observăm o corelație clară între fotocurent și spectrele de absorbție ale compusului. Aparent, în starea LS putem genera fotocurenți importanți prin iradierea dispozitivului electronic cu întregul spectru UV-Vis-NIR:

Un comportament similar a fost observat și în atmosferă inertă (azot) în care sunt evidențiate un efect reversibil și un efect ireversibil (figura 6).



**Figura 6.** Fotocurent înregistrat în starea LS la 95 oC în atmosferă de azot.

După cum se poate observa în figura 6, descreșterea intensității curentului electric este semnificativă la prima iradiere a dispozitivului în întregul spectrul al lămpii (28%) chiar și în atmosferă de azot, însă în timpul următoarelor iradieri, intensitatea fotocurentului prezintă o descreștere semnificativ mai redusă (7%). Acest efect a fost explicat luând în considerare un proces de absorbție/desorbție al oxigenului și/sau umidității la suprafața particulelor. Rezultate similare au fost raportate pentru fotocurenți generați în straturi subțiri de ZnO [4,5], fenomen

explicat prin existența capcanelor de suprafață ale purtători de sarcină datorată oxigenului. Asemenea reacții redox ar putea sta la baza fenomenelor întâlnite în acest dispozitiv.

Este important de menționat faptul că efectul iluminării unor dispozitive electronice ale aceluiași compus cu tranziție de spin au fost studiate și de Etrillard et.al. [6], utilizând particule mai mici ca dimensiune (500 nm lungime și 100 nm lățime), sintetizate utilizând surfactanți. Aceștia au observat la temperatura camerei – contrar observațiilor noastre – un fotocurent pozitiv (ce creștea sub iluminare), totuși nu a fost evidențiată nici o dependență cu temperatură (starea de spin) al acestui dispozitiv.

## 2. Modificarea stării de spin prin aplicarea unui câmp electric

Până în prezent modificarea stării de spin a fost efectuată prin aplicarea unor perturbații externe, precum temperatura, presiunea, iradiere electromagnetică sau câmp magnetic. Totuși, pentru folosirea acestui tip de materiale ca materiale active în dispozitive electronice sau spintronice cu viteze înalte de reacție este necesar folosirea altor mărimi de control, care să permită timpi de detecție mici și să nu fie afectați de efecte cinetice. În acest sens, una din prioritățile noastre în cadrul acestui proiect a fost analiza posibilității modificării stării de spin prin aplicarea unui câmp electric. Măsurătorile au fost efectuate pe platforma dezvoltată la Suceava, în cadrul Laboratorului de Materiale Avansate și Nanotehnologii al Universității „Ștefan cel Mare”.

Comutarea dispozitivelor fabricate a fost realizată unidirecțional din starea HS în starea LS folosind un câmp electric de aproximativ 40 kV/cm în interiorul ciclului de histeresis, aproape de temperatura de tranziție a compusului (figura 1a). Aplicarea câmpului electric de tip treaptă (de la 10 kV/cm la 40 kV/cm) furnizează o energie suficientă astfel încât să comute o parte a particulelor depuse între electrozi. Înainte și între comutări au fost înregistrate ciclurile termice cu tensiuni diferite (5V și 20V) pentru a ne asigura că tranziția termică este încă prezentă. Figura 6 ilustrează o succesiune de astfel de cicluri termice.

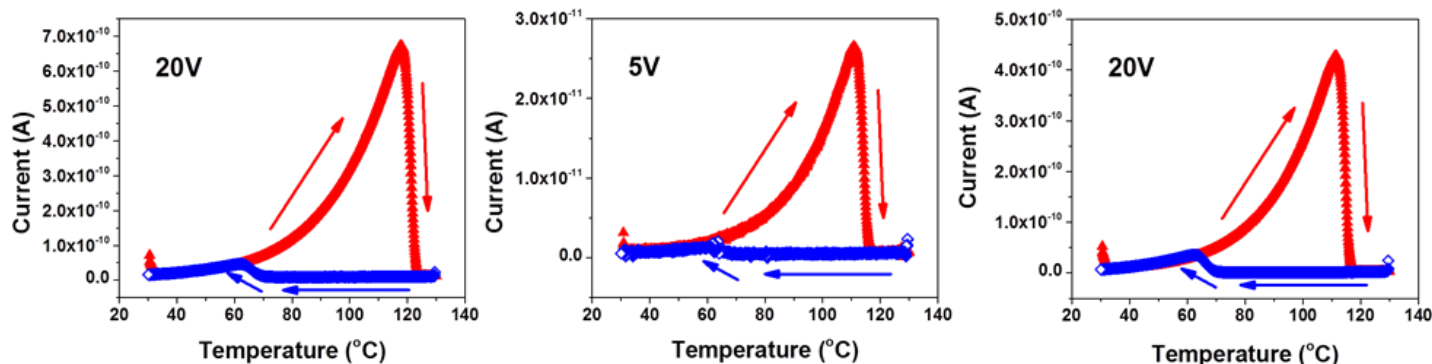
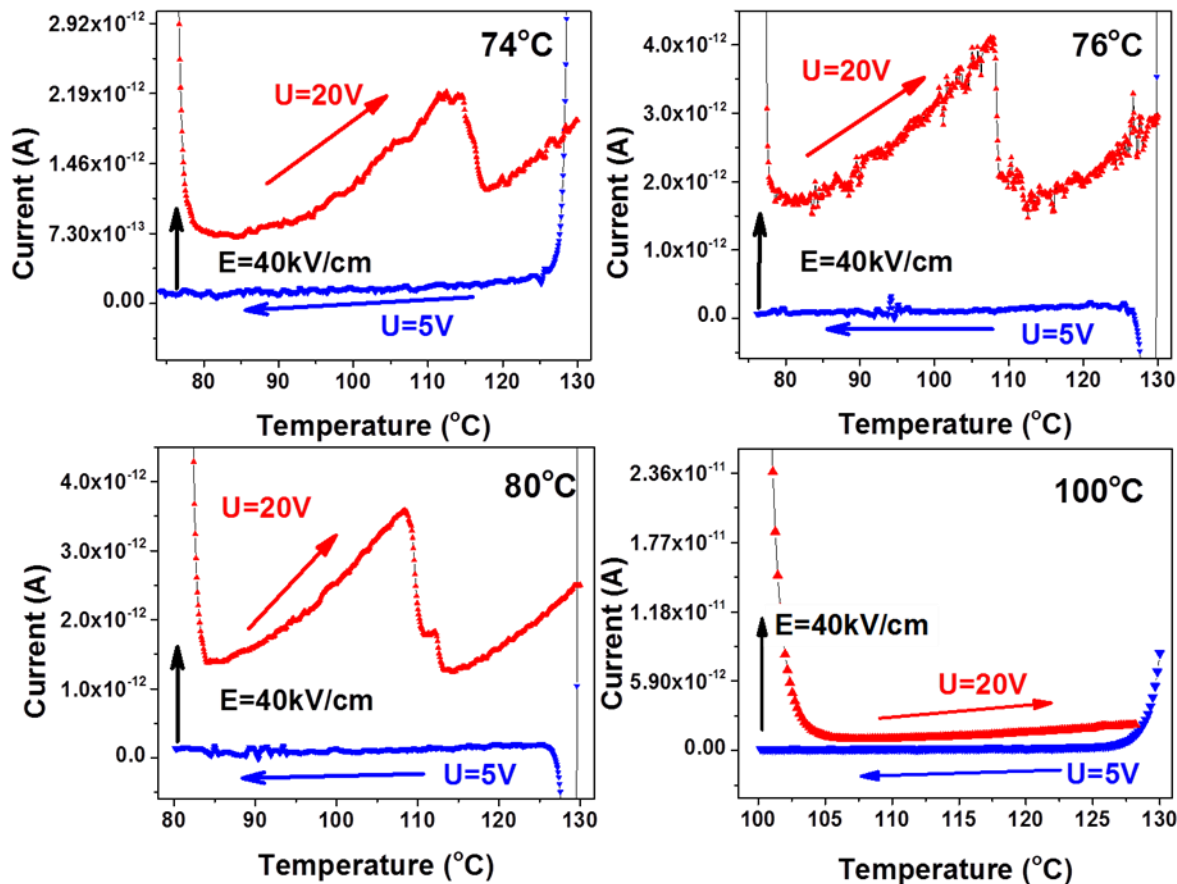


Figura 6. Cicluri termice de histeresis înregistrate înainte, între și după efectuarea comutării.

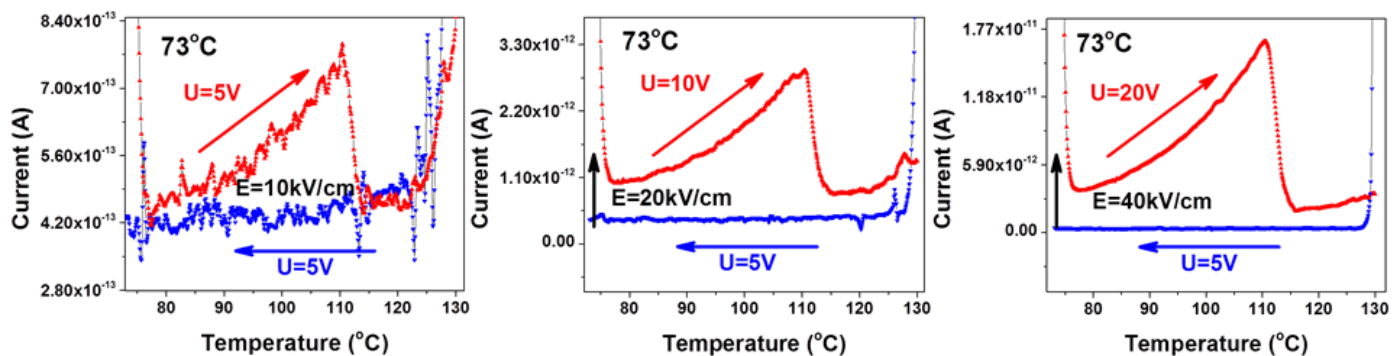
Pentru a efectua comutarea utilizând câmpul electric, am încălzit dispozitivul la 130 °C, stabilizându-l astfel în starea HS. Dispozitivul a fost ulterior răcit cu 5 °C/min, și sub o tensiune de 5 V până la temperaturile de comutare selectate (74 °C, 76 °C, 80 °C și 100 °C), în interiorul ciclului de histeresis. Odată ce dispozitivul a ajuns la temperatura dorită, tensiunea de polarizare este oprită și repornită brusc pentru a aplica câmpul electric necesar comutării stării de spin (10kV/cm, 20kV/cm și 40kV/cm). Pentru a verifica dacă a avut loc o modificare a stării de spin indusă electric, după aplicarea câmpului electric, temperatura a fost crescută cu o viteză de 2°C/min fiind monitorizată evoluția termică a fracției HS. După cum se poate observa din Figura 7 atunci cand

dispozitivul ajunge la o temperatură egală cu temperatura de tranziție din starea LS în starea HS, conductivitatea electrică a acestuia scade, scădere asociată cu tranziția de spin care are loc în sânul particulelor. Astfel, am demonstrat, pentru PRIMA DATĂ, posibilitatea modificării stării de spin, în sisteme moleculare cu dimensiuni micrometrice, prin aplicarea unui câmp electric. Din analiza intensității curentului electric, înainte și după comutare, se observă o comutare incompletă, modificarea stării de spin fiind indusă doar în aprox. 10% din moleculele supuse câmpului electric.



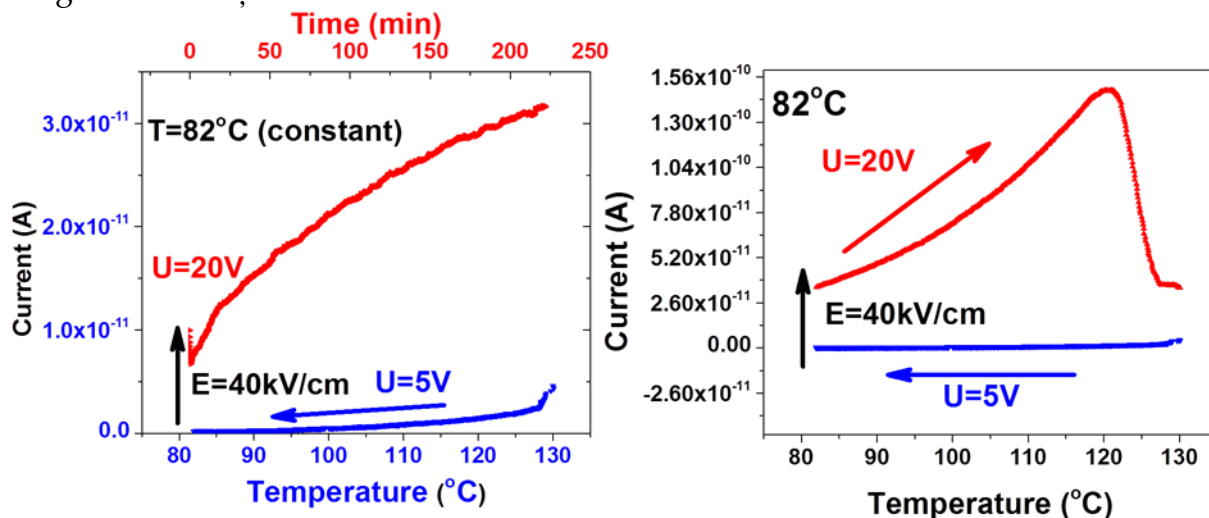
**Figura 7.** Set de comutări induse electric, realizate la diferite temperaturi, prin aplicarea unui câmp electric de tip treaptă de 40 kV/cm.

Analiza procesului de comutare a fost realizată și pentru diferite valori ale câmpului electric, la temperaturi fixe. În figura 8 sunt prezentate o serie de comutări realizate la diferite valori ale câmpului electric aplicat: 10kV/cm, 20kV/cm și 40kV/cm.



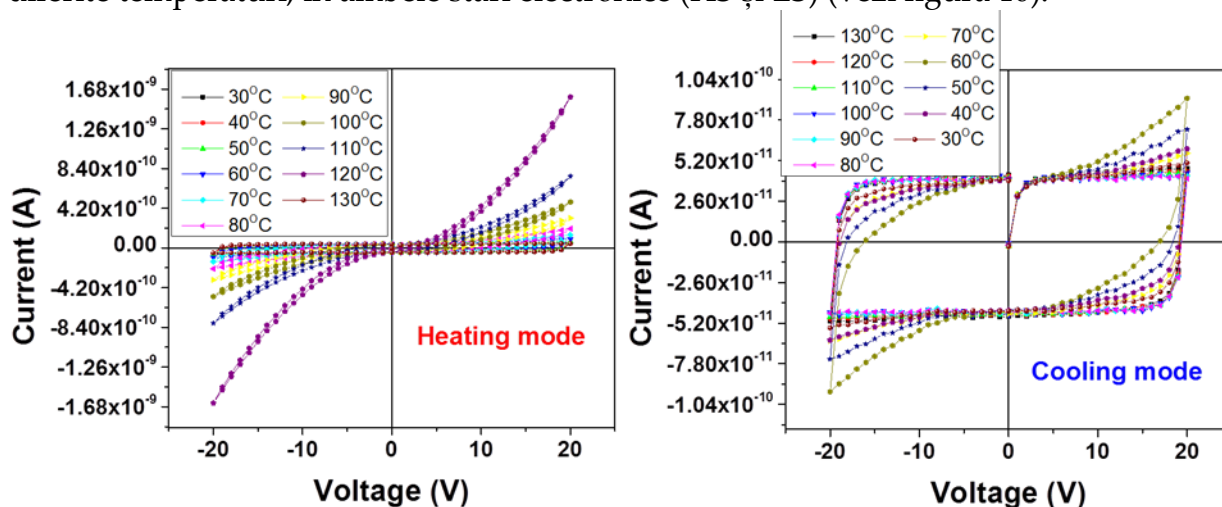
**Figura 8.** Comutarea dispozitivului la diferite valori ale câmpului electric aplicat, înregistrate la temperatura de 73 oC.

Analiza stabilității dispozitivului, după aplicarea câmpului electric, este prezentată în figura 9. Comutarea a fost realizată prin aplicarea unui câmp de 40 kV/cm la 82 °C. După comutarea stării de spin prin aplicarea câmpului electric, temperatura a fost menținută constantă, înregistrându-se variația în timp a fracției HS, timp de câteva ore. După 4 ore am crescut temperatura și am înregistrat tranziția din starea LS în starea HS.



**Figura 9. (Stânga)** Analiza stabilității dispozitivului după aplicarea unui câmp electric de 40 kV/cm. **(Dreapta)** Tranziția termică înregistrată după ce dispozitivul a fost menținut timp de 4 ore la temperatură constantă în starea LS indusă prin câmpul electric.

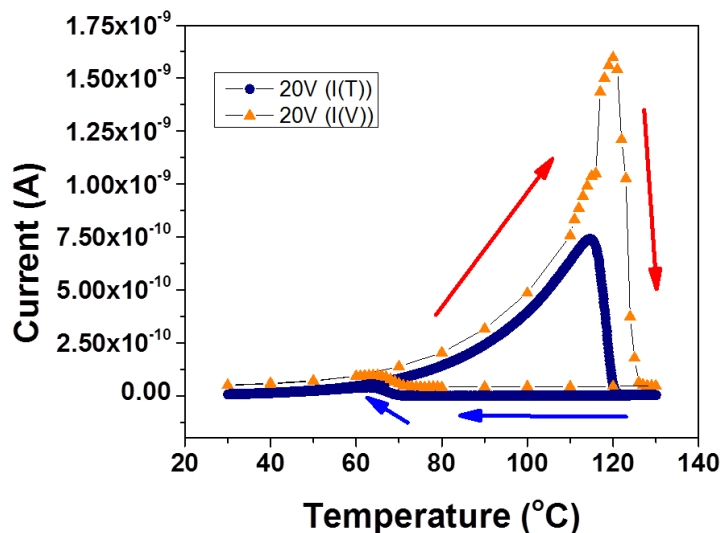
Această analiză a fost completată prin înregistrarea caracteristicilor curent-tensiune (I-V) la diferite temperaturi, în ambele stări electronice (HS și LS) (vezi figura 10).



**Figura 10.** Caracteristici I-V înregistrate pe ramura termică ascendentă (stânga), respectiv pe ramura descendentă a ciclului de histeresis (dreapta).

Putem observa că aceste caracteristici I-V sunt diferite față de cele înregistrate pe dispozitivul utilizat la efectul luminii. Acest lucru se datorează faptului că pentru aceste dispozitive am folosit o soluție coloidală mai concentrată, ceea ce face ca un număr mai mare de particule (implicit interfețe între particule) să fie conectate între electrozi. Caracterul histeretic observat pe ramura termică descendentă poate fi datorat în principal acumulării de sarcină la interfețele dintre particule și electrozi.



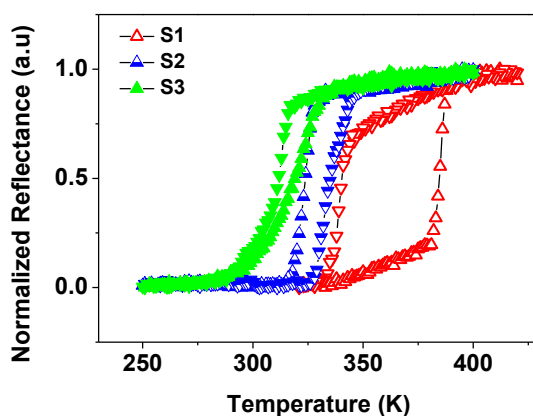


**Figura 11.** Comparație între ciclul termic înregistrat la tensiunea constantă de 20 V și ciclul termic construit din caracteristicile I-V.

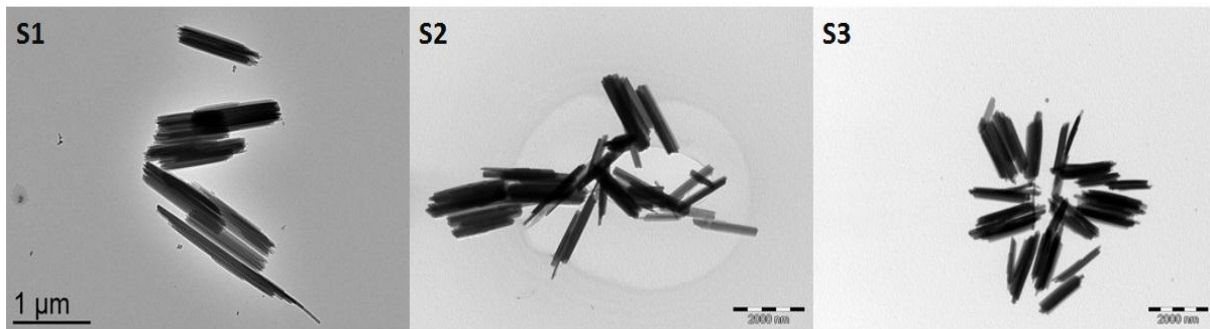
Folosind aceste caracteristici I-V am construit ciclul termic care a fost comparat cu ciclul termic înregistrat la tensiune constantă. În figura 11, putem observa că ciclul termic dinamic (extras din caracteristicile I-V) este deplasat spre temperaturi mai mari. Acest aspect poate explica fenomenul comutării din starea HS în starea LS.

### 3. Analiza proprietăților electrice în regim dinamic (a.c.).

Pentru o mai bună înțelegere a proprietăților de transport de sarcină în sistemele cu tranziție de spin, am efectuat o analiză statică și dinamică a unei serii de probe în centrul metalic au fost înlocuiți cu impurități de Zn, în diferite concentrații. Astfel, au fost analizate efectele de substituție a ionilor de Fe(II) asupra structurii, morfologiei, transportului de sarcină și proprietăților de tranziție de spin în compusul  $[\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  (trz = triazol,  $x = 0$  (S1), 0.26 (S2), 0.43 (S3)) cu ajutorul microscopiei electronice, difracție de raze X, reflectivitate optică, spectroscopie Raman, FTIR, spectrometrie Mössbauer și spectroscopie de impedanță ( $10^{-2}$  to  $10^6$  Hz). Structura cristalină și morfologia particulelor rămân aproape neafectate, însă tranziția termică de spin se deplasează de la valoarea de 362 K la 316 K, iar lățimea histeresisului termic scade de la 45 K până la 8 K pentru valori crescătoare ale gradului de diluare.



**Figura 12.** Dependența termică a fracției HS, înregistrată prin măsurători de reflectivitate difuză pe cele trei sisteme cu grade de diluare diferite.



**Figure 13.** Micrografii SEM ale probelor S1 - S3

Pentru fiecare compus sintetizat am reușit să punem în evidență o dependență de spin a conductivității electrice. Pe de altă parte, o scădere generală accentuată în conductivitatea electrică cu creșterea concentrației de Zn a fost, de asemenea, observată în ambele stări de spin. Aceste rezultate, împreună cu analiza dinamicii purtătorilor de sarcină sugerează faptul că ionii de Fe(II) participă direct la mecanismul de transport de sarcină în aceste materiale.

Dependența în funcție de frecvența câmpului aplicat a părții reale a conductivității electrice, măsurată pe ramura descendentă a ciclului de histerezis este prezentată în figura 14 pentru fiecare compus. Pentru compusul S1 ( $x=0$ ) dependența de frecvență a conductivității electrice este puternic dependentă atât de starea de spin cât și de temperatură (figura 14a). Conductivitatea prezintă un comportament universal, caracteristic unui sistem dezordonat, descris de relația lui Joncher:

$$\sigma'(\omega) = \sigma_{DC} + A\omega^n = \sigma_{DC} \left[ 1 + \left( \frac{\omega}{\omega_c} \right)^n \right]$$

unde  $\sigma'(\omega)$  – reprezintă partea reală a conductivității complexe,  $\sigma_{DC}$  reprezintă conductivitatea când  $\omega \rightarrow 0$ ,  $\omega_c$  este frecvența de tăiere, care poate fi identificată cu frecvența de salt, iar A și n sunt constante de material.

Dependența termică a părții reale a conductivității electrice la diferite valori ale frecvenței câmpului aplicat (figurile 14b și 14c de mai jos) prezintă un comportament histeretic având temperaturile de comutare similare cu cele observate în măsurătorile de reflectivitate difuză. La trecerea din starea LS în starea HS conductivitatea electrică scade cu două ordine de mărime.

Pentru probele diluate S2 și S3 efectul frecvenței asupra conductivității electrice este puternic influențat de prezența impurităților Zn (figurile 14d și 14g). Forma spectrelor de conductivitate indică un caracter izolator pentru rețelele diluate, cu o scădere semnificativă a frecvenței de tăiere. Această scădere uriașă în conductivitate asociată cu substituția de Zn a fost observată în întregul interval de frecvență și temperatură, adică în ambele stări de spin și în ambele regimuri de conductivitate (AC și DC).

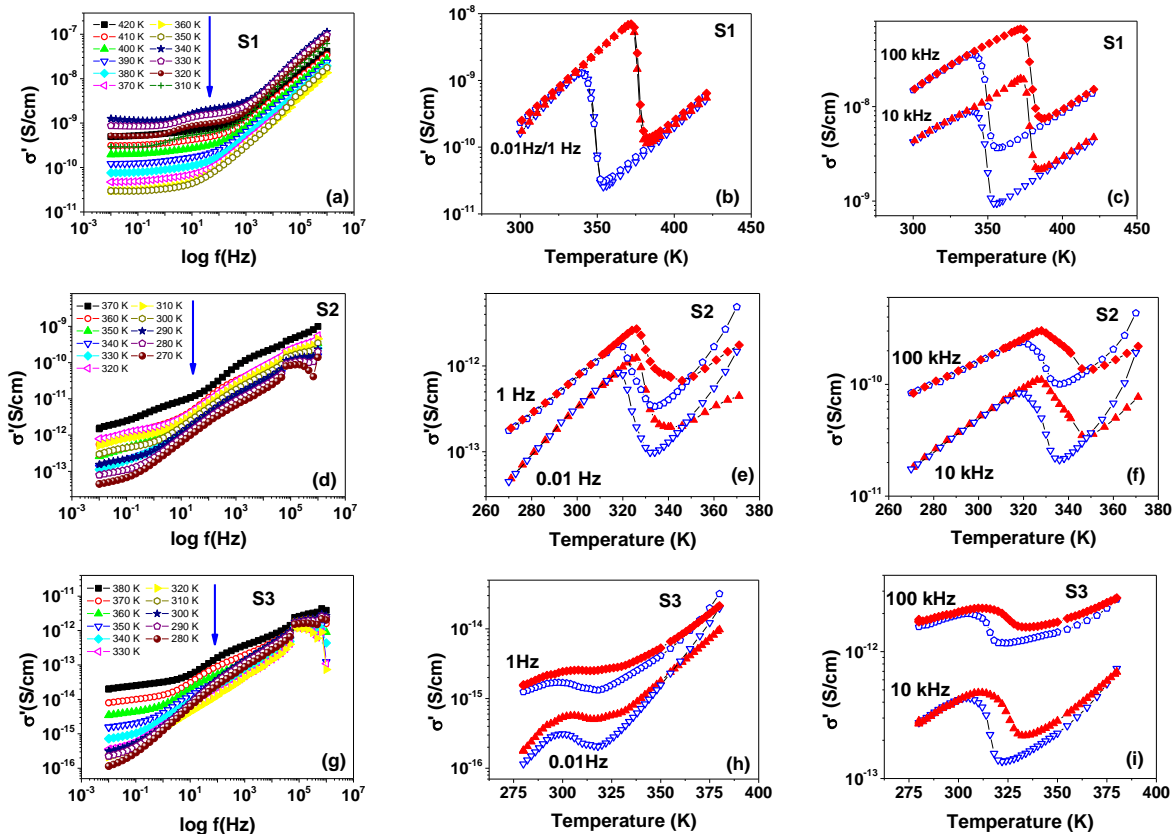


Figure 14. Dependența de frecvență (a, d, g) și temperatură (b-c, e-f, h-i) a părții reale a conductivității electrice pentru probele S1, S2 și S3.

Dependența de frecvență a componentei reale a permitivității dielectrice măsurată pe ramura descendentă, pe compusul S1 este prezentată în figura 15. Permitivitatea dielectrică complexă poate fi exprimată sub forma

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) + i\varepsilon''(\omega)$$

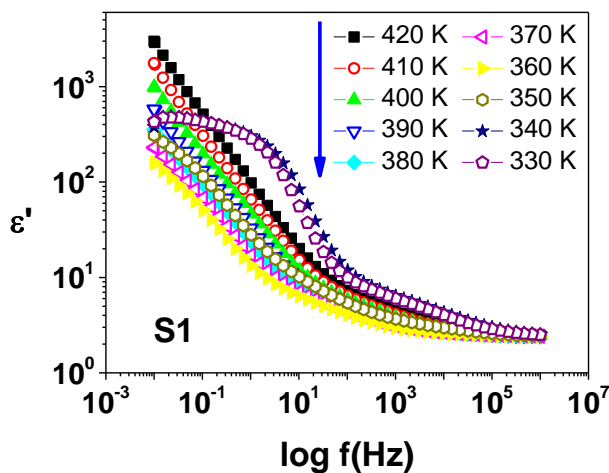
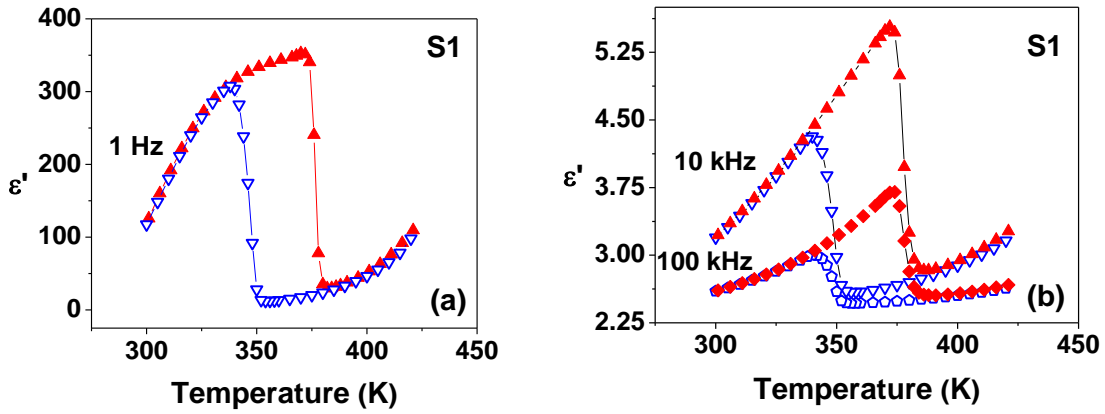


Figura 15. Dependența de frecvență a componentei reale a permitivității dielectrice a compusului S1

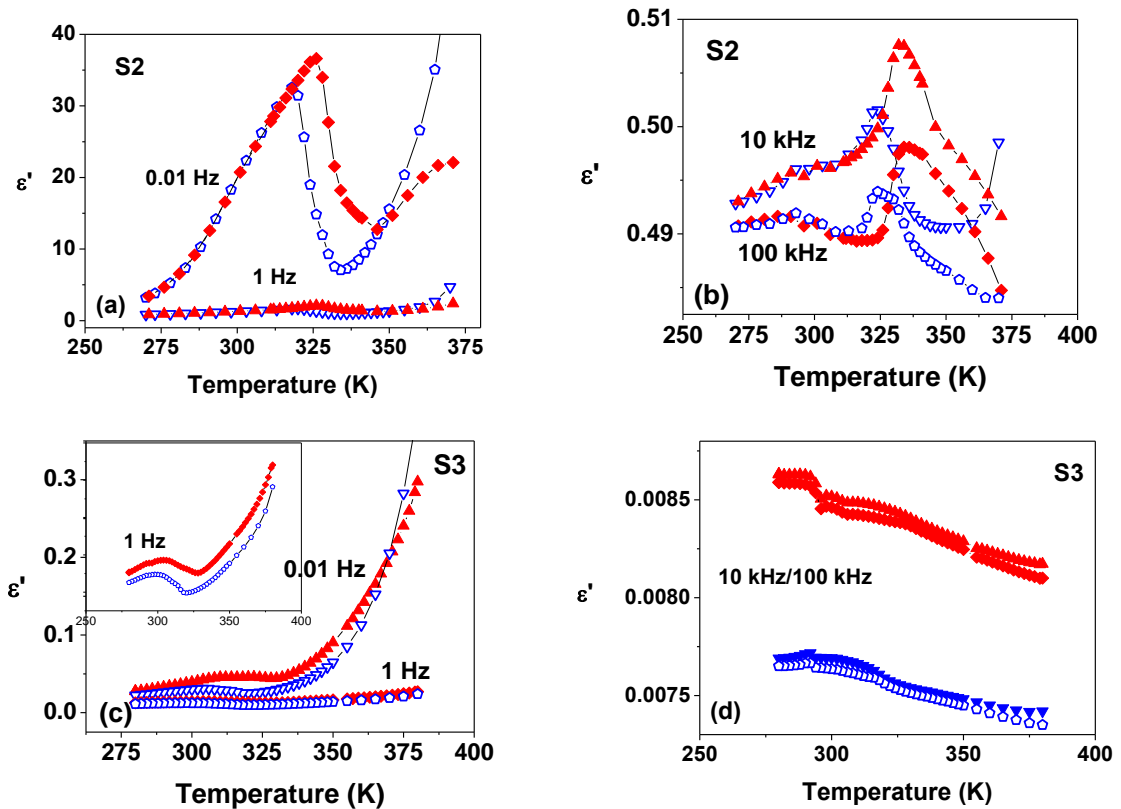
Din figura 15 se poate extrage cu ușurință dependența termică a componentei reale a permitivității dielectrice pentru diferite valori ale frecvenței câmpului aplicat (vezi figura 16).



**Figura 16.** Dependența termică a permitivității dielectrice pentru compusul S1 măsurată la diferite frecvențe: 1Hz (a) and 10 kHz & 100 kHz (b)

Din figura 16 putem observa o dependența a lui  $\epsilon'$  în funcție de starea de spin a sistemului, conferindu-i acestia din urmă proprietăți interesante ce ar putea fi exploatate în aplicații precum memorii capacitive.

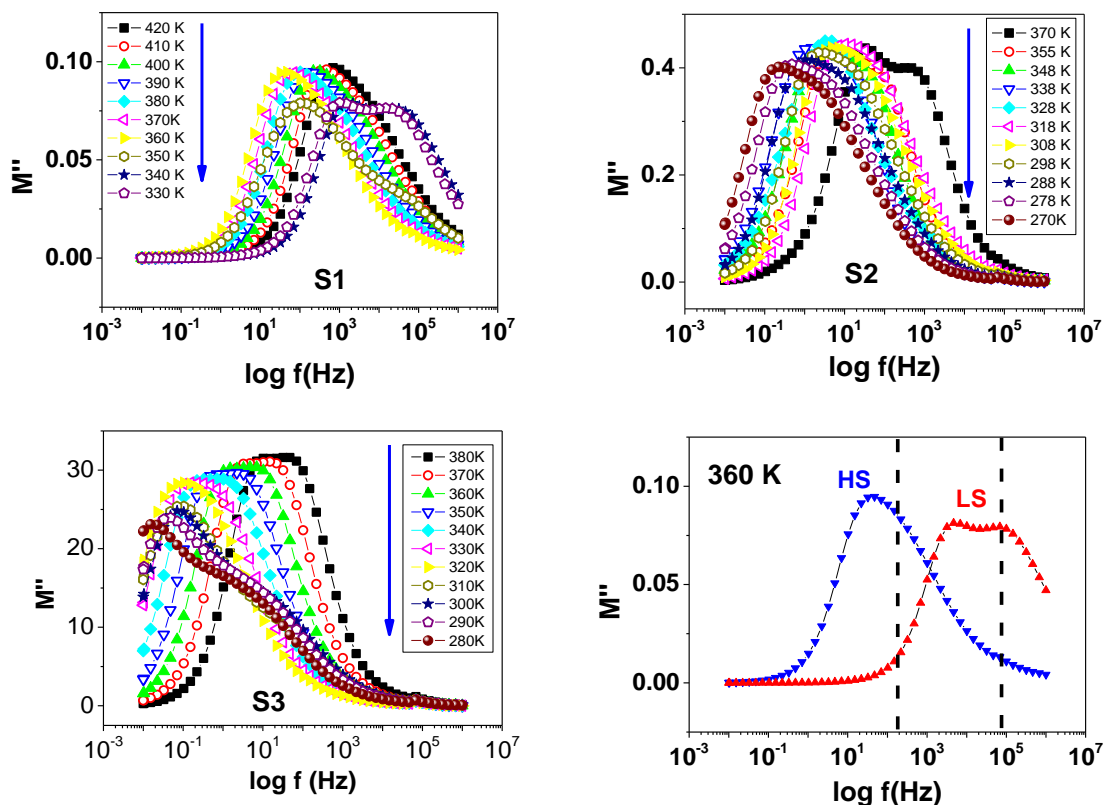
Un comportament similar a fost observat și pentru celelalte două sisteme diluate (vezi figura 17).



**Figura 17** Dependența termică a permitivității dielectrice înregistrată pentru diferite frecvențe, pe compuşii S2 (a-b) și S3 (c-d)

Pentru a evita efectele nedorite care apar din cauza polarizării electrozilor, care pot masca procesele de relaxare dielectrice în timpul analizei permitivității complexe, am folosit formalismul modulului electric ( $M^* = 1/\epsilon^*$ ) pentru a analiza comportamentul sistemelor noastre (vezi figura 17).

Dependența de frecvență a componentei imaginare a modului electric, pentru cele trei sisteme, este prezentată în figura 17.



**Figura 16.** (a-c) Dependența de frecvență a componentei imaginare a modului electric, măsurată pe ramura descendentă, pentru probele S1 - S3 (d) Dependența de starea de spin a componentei imaginare a modului electric înregistrată pe compusul S1.

Din figura de mai sus putem vedea clar că maximul lui  $M''$  scade cu temperatura până când aceasta este egală cu temperatura de tranziție, unde maximul variației prezintă un salt în frecvență spre valori superioare la trecerea din starea HS în starea LS.

## Bibliografie

1. A. Rotaru, I.y.A. Gural'skiy, G. Molnar, L. Salmon, P. Demont, A. Bousseksou, *Chemical Communications* 2012, **48**, 4163 – 4165
2. A. Rotaru, J. Dugay, R.P. Tan, I.A. Gural'skiy, L. Salmon, P. Demont, J. Carrey, G. Molnar, M. Respaud, A. Bousseksou, *Advanced Materials* 2013, **25**, 1745 - 1749
3. C. Lefter, I.y.A. Gural'skiy, H. Peng, G. Molnár, L. Salmon, A. Rotaru, A. Bousseksou, P. Demont, *Physica Status Solidi (RRL) – Rapid Research Letters* 2014, **8**, 191 – 193
4. J. Carrey, H. Carrere, M. L. Kahn, B. Chaudret, X. Marie, M. Respaud, *Semiconductor Science and Technology* 2008, **23**, 025003-1 – 025003-5.
5. C. Soci, A. Zhang, B. Xiang, S.A. Dayeh, D.P.R. Aplin, J. Park, X.Y. Bao, Y.H. Lo, D. Wang, *Nano Letters* 2007, **7**, 1003 – 1009.
6. C. Etrillard, V. Faramarzi, J.-F. Dayen, J.-F. Letard, B. Doudin, *Chemical Communications* 2011, **47**, 9663 – 9665.

## Diseminarea rezultatelor

Nivelul științific al rezultatelor obținute se poate cuantifica, atât prin factorul de impact ISI înalt al jurnalelor în care au fost publicate cele 2 articole (ambele aflându-se în zona roșie după încadrarea revistelor pe subdomenii, de către UEFISCDI), însumând un factor de impact ISI cumulativ de 4,669 (respectiv al jurnalelor în care au fost trimise spre evaluare celelalte 3 articole), cât și prin numărul de citări (3 citări, exceptând autocitările) obținute într-un timp foarte scurt (în jurnale prestigioase, precum *Advanced Materials*, *Journal of Applied Physics*, respectiv *Journal of Materials Chemistry C*).

### I. Articole publicate

- 
1. **Constantin Lefter**, Il'ya A. Gural'skiy, **Haonan Peng**, **Gabor Molnar**, **Lionel Salmon**, **Aurelian Rotaru**, **Azzedine Bousseksou**, Philippe Demont, "Dielectric and charge transport properties of the spin crossover complex  $[Fe(Htrz)_2(trz)](BF_4)$ ", *Physica Status Solidi – Rapid Research Letters*, **8** (2014) 191-193 (**ISI Impact Factor: 2.343**)
  2. Iurii Gudyma, Artur Maksymov, **Mihai Dimian**, "Stochastic resonance in bistable spin-crossover compounds with light-induced transitions", *Physical Review E*, **90** (2014) 052135 (**ISI Impact Factor: 2.326**)
- 

### II. Lucrări trimise spre evaluare/în pregătire

- 
1. **C. Lefter**, S. Tricard, H. Peng, **G. Molnár**, **L. Salmon**, P. Demont, **A. Rotaru**, **A. Bousseksou**, "Metal substitution effects on the charge transport and spin transition properties of  $[Fe_{1-x}Zn_x(Htrz)_2(trz)](BF_4)$  ( $x=0, 0.26, 0.43$ )", trimisă spre evaluare la *Journal of Physical Chemistry C* (**ISI Impact Factor: 4.835**)
  2. **C. Lefter**, S. Tricard, **G. Molnár**, **L. Salmon**, **A. Rotaru**, **A. Bousseksou**, "Photocurrent phenomena across the bistability region in  $[Fe(Htrz)_2(trz)](BF_4)$  spin crossover micro-rods", trimisă spre evaluare la *Physical Chemistry Chemical Physics* (**ISI Impact Factor: 4.198**)
  3. **C. Lefter**, I. A. Gural'skiy, **G. Molnár**, **L. Salmon**, **A. Rotaru**, **A. Bousseksou**, "On the spin transition stability in the electrical properties of the  $[Fe(Htrz)_2(trz)](BF_4)$  spin crossover compound" trimisă spre evaluare la *Nanotechnology* (**ISI Impact Factor: 3.672**)
  4. **C. Lefter**, I. A. Gural'skiy, **G. Molnár**, **L. Salmon**, **A. Rotaru**, **A. Bousseksou**, "Unidirectional electric-field-induced spin state switching in micrometric-sized spin crossover particles", în curs de redactare.
- 

### III. Participări la conferințe naționale și internaționale

- 
1. **C. Lefter**, S. Tricard, **H. Peng**, **G. Molnár**, **L. Salmon**, P. Demont, **A. Rotaru**, **A. Bousseksou**, "Dilution effect on intrinsic charge transport and dielectric properties of  $[Fe_{1-x}Zn_x(Htrz)_2(trz)](BF_4)$  (with  $x=0, 0.26$  and  $0.43$ ) spin crossover compound", *Electroceramics* **14**, 16-20 June 2014, Bucharest, Romania, (**oral presentation**)

2. **C. Lefter**, S. Tricard, **G. Molnár**, **L. Salmon**, **A. Rotaru**, **A. Bousseksou**, “*Electric-field-induced spin-state switching in spin crossover particles*”, **ElecNano**, 26-28 May 2014, Paris, France, (**oral presentation**)
  3. **C. Lefter**, S. Tricard, **G. Molnár**, **L. Salmon**, **A. Rotaru**, **A. Bousseksou**, “*Unusual photocurrent in a spin crossover compound*”, **ElecNano**, 26-28 May 2014, Paris, France, (**poster presentation**)
  4. **C. Lefter**, S. Tricard, **H. Peng**, **G. Molnár**, **L. Salmon**, P. Demont, **A. Rotaru**, **A. Bousseksou**, “*Charge transport phenomena in molecular spin crossover compounds*”, **1<sup>st</sup> Autumn School on Physics of Advanced Materials**, Iasi, Romania, 22-28 September 2014 (**poster presentation**)
  5. **C. Lefter**, I.A. Gural'skiy, S. Tricard, **G. Molnar**, **L. Salmon**, **A. Bousseksou**, A.Graur, **A. Rotaru**, “*Studies regarding stability issues of [Fe(Htrz)<sub>2</sub>(trz)](BF<sub>4</sub>) spin crossover complex*”, 10th International Conference on Physics of Advanced Materials, Iasi, Romania, 22-28 September 2014 (**Best Poster Award**)
- 

Director proiect,  
Conf. univ. dr. Aurelian ROTARU