

# **RAPORT STIINTIFIC**

privind implementarea proiectului

## **Explorarea proprietăților dielectro-magnetice ale nanostructurilor comutabile multifuncționale prin metode ultra-sensibile**

**Perioada de raportare: 01/01/2023 — 31/12/2023**

<b>Cod proiect</b>	PN-III-P1-1.1-TE-2021-1654
<b>Nr. contract</b>	TE 77 / 2022
<b>Acronim</b>	HighSensSpin
<b>Director proiect</b>	Andrei DIACONU
<b>Contractor</b>	Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava str. Universității nr. 13 Suceava 720229 România
<b>Site web</b>	<a href="http://nanomat.usv.ro/TE77.php">http://nanomat.usv.ro/TE77.php</a>

**Rezumat executiv al proiectului TE77/2022, Cod Proiect: PN-III-P1-1.1-TE-2021-1654, cu titlul „Explorarea proprietatilor dielectro-magnetice ale nanostructurilor comutabile multifunctionale prin metode ultra-sensibile - HighSensSpin” pentru perioada 1 Ianuarie - 31 Decembrie 2023**

Etapa 2 a proiectului implică analiza proprietăților magnetice ale nanostructurilor SCO prin metoda TDO (oscilator cu dioda tunel). Gradul de acoperire a celor 3 activităților prevăzute în această etapă de raportare este de 100%. În cadrul aceste etape am participat la 2 conferințe internaționale (din care una invited), 3 manuscrise sunt în fazele finale de redactare, fiind prevăzută trimiterea lor spre evaluare în reviste ISI încadrate Q1 și/sau Q2 în cursul lunii Decembrie a acestui an. Mai mult, activitatea 3.1 (Efectuarea de măsurători dielectrice/optice în temperatura variabilă în criostat cu azot lichid) prevăzută în Etapa 3 este de asemenea 100% realizată.

**Activitatea 1 presupune testarea și validarea de circuite TDO.** În cadrul acesteia, s-au construit o serie de circuite oscilante utilizând bobinele planare obținute în cadrul prime etape plus o serie nou construită, bobine solenoid și o serie de condensatori cu nanoparticule SCO ca și dielectric. Circuitele obținute au stabilitate ridicată ( $<4\text{ppm}$ ) și frecvențe de rezonanță între 100kHz și 50MHz, și au fost concepute pentru a putea efectua măsurători în temperatură, presiune, câmp magnetic și lumina variabilă a componentelor active L/C cu SCO.

**Activitatea 2 presupune efectuarea de măsurători magneto-optice în temperatura variabilă în criostat cu azot lichid.** Am încorporat o serie de bobine și condensatori cu SCO conectate la circuit TDO într-o celulă optică Linkam (contact termic prin conducție) cu azot lichid și am efectuat o serie de măsurători magnetice/dielectrice în temperatura variabilă. Am efectuat de asemenea măsurători magnetice cu TDO pe SCO încorporând bobina (inductorul) circuitului într-o celulă de presiune (3000 bar) cu temperatura variabilă. Am construit și un setup TDO pentru a măsura capacitatea condensatorilor SCO în funcție de frecvența și temperatura utilizând un modul termic ce utilizează azot lichid pentru gazul de răcire asigurând uniformizare termică în gaz al condensatorului. Rezultatele au fost comparate cu măsurători dielectrice, optice și magnetice realizate pe probe cu masă mult mai mare (de ordinul zecilor de miligrame). **Rezultatele obținute sunt unicat, astfel de măsurători fiind efectuate pentru prima dată.** Din punct de vedere științific, aceste analize ne-au permis să analizăm o serie de materiale compozite polimer-SCO, cu diferite concentrații ale materialului de umplere (SCO) elaborate sub diferite forme: straturi subțiri și nanofibre. În urma acestor analize am putut pune în evidență un efect de matrice, ce conduce la o creștere a cooperativității sistemului cu tranziție de spin foarte importantă, efect ce poate fi exploatat în aplicații de stocare a informației, sau folosirea acestor materiale ca senzori de presiune și/sau temperatură. Rezultatele obținute urmează a fi trimise spre publicare până la sfârșitul anului.

**Activitatea 3 presupune efectuarea de măsurători magnetice în temperatura variabilă în criostat cu heliu lichid.** În cadrul acestei activități am construit și testat un setup TDO ce poate fi încorporat într-un magnetometru squid MPMS3 pentru măsurători în temperatură variabilă până la 2K. Circuitul construit este destul de mic pentru a încăpea în camera cu gaz a instrumentului și conține o bobină planară special construită pentru a permite măsurători ale

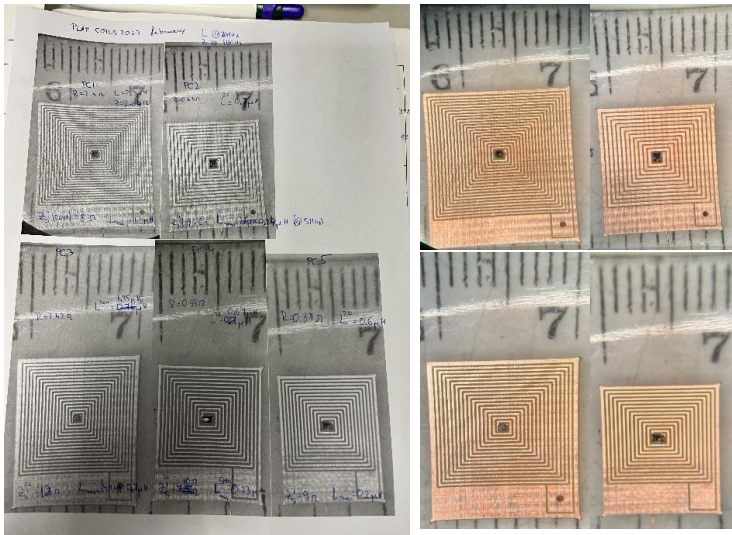
susceptibilității magnetice în câmp magnetic și temperatura variabilă.

## Raport științific detaliat (descrierea științifică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei anuale și gradul de realizare a obiectivelor)

**Etapa 2** a proiectului implică analiza proprietăților magnetice ale nanostructurilor SCO prin metoda TDO (oscilator cu dioda tunel). Etapa este structurată în 3 activități.

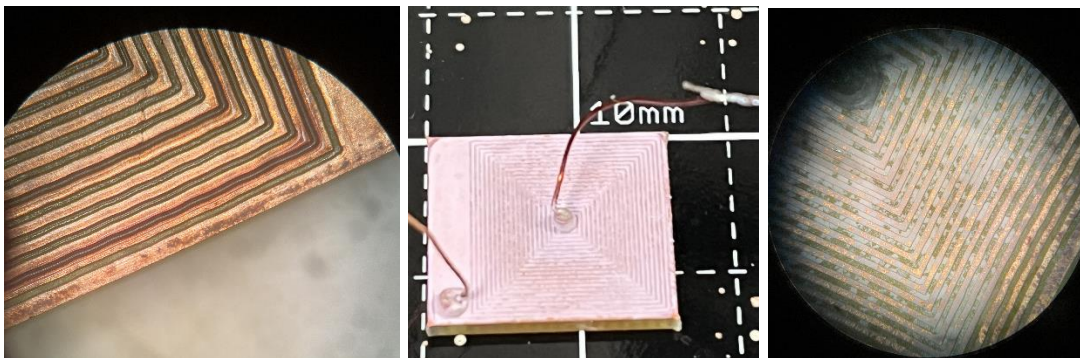
**Activitatea 2.1: Testarea și validarea de circuite TDO** presupune testarea stabilității și performanței circuitelor TDO și ajustarea componentelor acestora în consecință în vederea validării performanței.

În cadrul acestei activități am construit o serie de bobine planare de diferite dimensiuni cu ajutorul mașinii de frezat Protomat achiziționată în cadrul proiectului. Bobinele au fost testate și încorporate în circuite TDO, fiind optimizate în ce privește valoarea inductanței acestora.



**Figura 1.1.** Exemplu de bobine planare construite cu mașina de frezat cu inductanțe cuprinse între 0.5 și 2μH

Particulele SCO au fost depuse pe bobinele fabricate prin diferite metode (drop casting și dielectroforeza), cu și fără polimer.



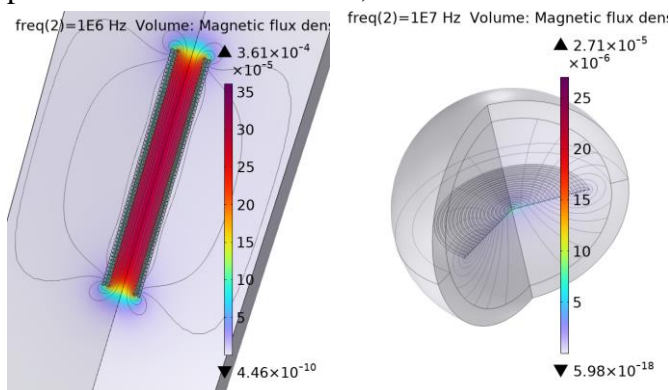
**Figura 1.2.** Imagini optice ale bobinelor planare cu nanoparticule SCO depuse, cu și fără PVP

În vederea extinderii gamei de frecvențe în care poate funcționa circuitul oscilant, au fost construite și o serie de bobine de tip solenoid, cu inductanță mare (5-150 $\mu$ H), ceea ce ne-a permis obținerea de frecvențe de rezonanță mici (<1MHz).



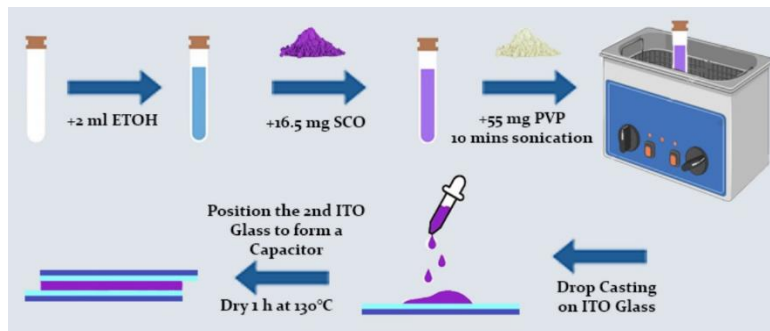
**Figura 1.3.** Imagini ale bobinelor de tip solenoid cu valori ale inductanței cuprinse între 5-150 $\mu$ H, construite cu GE Varnish.

Construcția bobinelor cu valorile dorite ale inductanței a fost bazată pe o serie de simulări bazate pe metoda elementului finit, efectuate în Comsol.



**Figura 1.4.** Simulări COMSOL pentru bobine plane și solenoid.

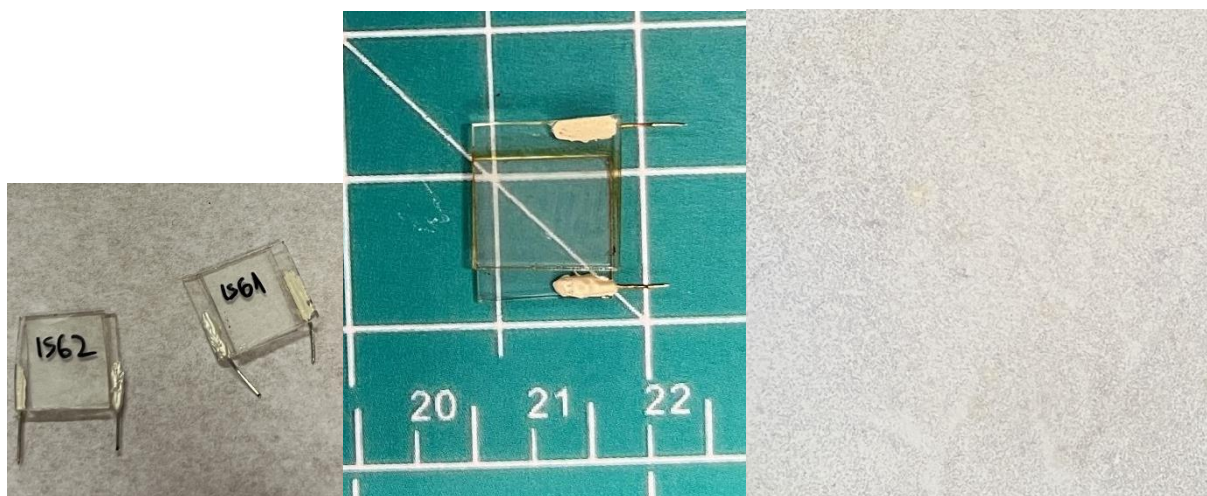
Filmel dielectrice bazate pe materialul compozit polimer-SCO au fost obținute prin dispersarea particulelor SCO în etanol, în baie cu ultrasunete. Peste această soluție a fost adăugat și polimerul utilizat, care este la rândul său solubil în solventul folosit. Soluția obținută în acest mod a fost folosită ulterior în fabricarea filmelor dielectrice, prin diverse metode: drop-casting, spin-coating și electrospining. Filmel dielectrice astfel obținute au fost integrate în condensatorii folosiți în circuitul oscilant.



**Figura 1.5.** Metoda de obținere (prin drop-casting) și de integrare a filmelor dielectrice pe bază de SCO în



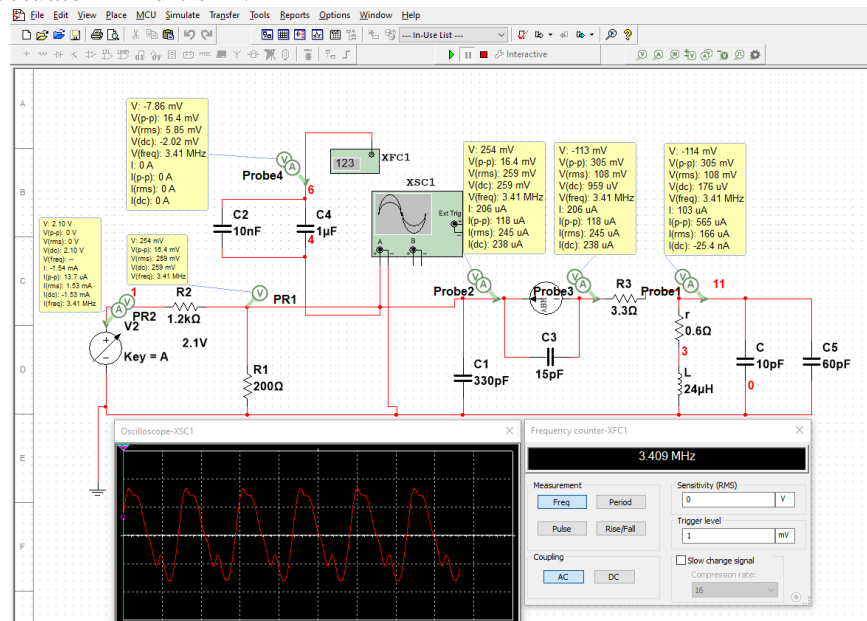
condensatori.



**Figura 1.6. (stânga)** Condensatori cu SCO+PVP. **(dreapta)** Imagine optică a dielectricului compozit SCO+PVP, obținută cu o magnificație 50x

Am construit o serie de circuite TDO cu bobinele de mai sus care sa permită măsurarea frecvenței de rezonanță în temperatura, frecvență, lumină și presiune variabilă. Variația frecvenței de rezonanță este direct proporțională cu variația inductanței care este direct proporțională la rândul ei cu variația susceptibilității magnetice sau a fracției high-spin a SCO. Totodată, variația constantei dielectrice a condensatorului este direct proporțională cu variația capacității care duce la o variație proporțională a frecvenței de rezonanță.

Componentele electronice optime, pentru funcționarea circuitelor oscilante, au fost alese în urma simulărilor efectuate în Multisim.



**Figura 1.7.** Simulare Multisim a unui circuit TDO folosit în măsurarea capacității unui condensator SCO

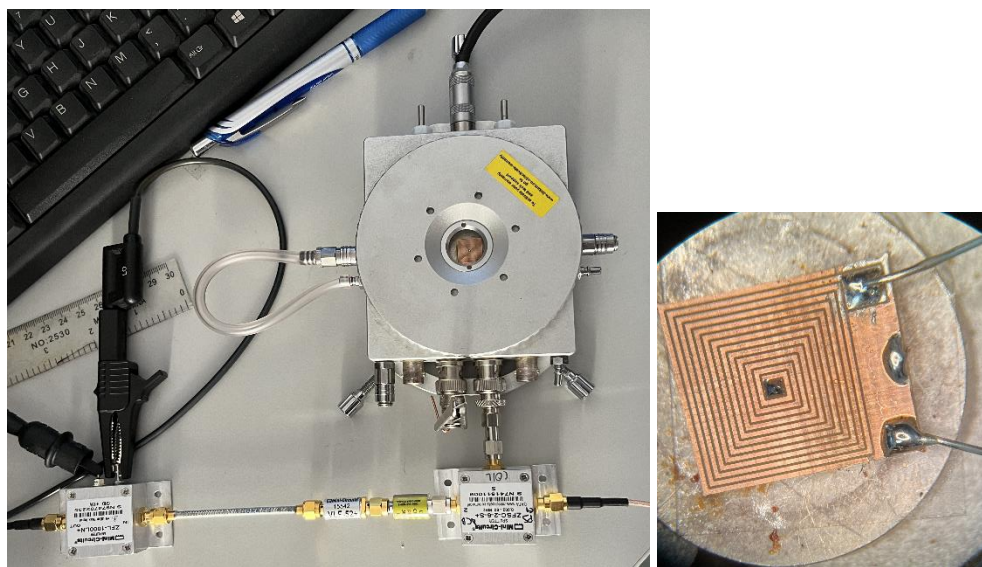
**Activitatea 2.2: Efectuarea de masuratori magneto-optice în temperatura variabilă în criostat cu azot lichid** presupune integrarea circuitelor TDO în criostatul cu azot lichid și caracterizarea proprietăților magneto-optice în temperatura variabilă 100K-300K, pentru o serie

de materiale SCO de diferite dimensiuni

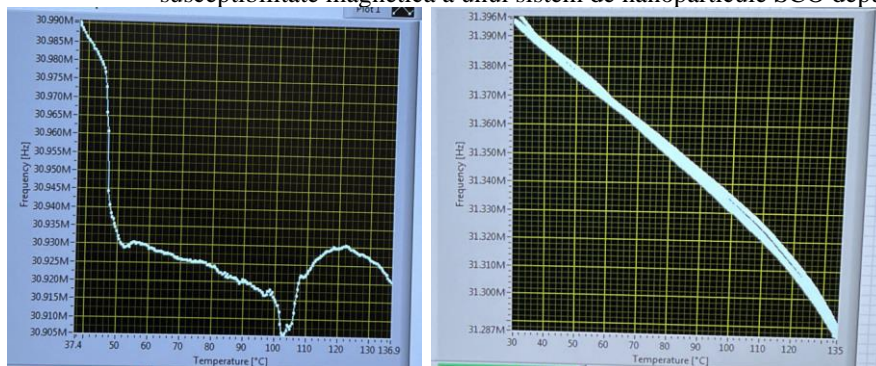
În vederea testării circuitului oscilant ce încorporează componente electronice ce conțin ca elemente active materiale cu tranziție de spin, au fost elaborate o serie de materiale compozite de tip polimer-SCO cu diverse concentrații ale materialului de umplere (SCO). Funcționalitatea metodei a fost testată și prin depunerea de particule cu tranziție de spin peste bobinele fabricate de către noi, cu valoare inductanței. Astfel, au fost încorporate două tipuri de sisteme moleculare cu tranziție de spin:  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  și  $[\text{Fe}(\text{NH}_2\text{-trz})_3](\text{SO}_4)$ , sub formă de nanoparticule, cu morfologii diferite (cvasi-sferice și alungite de tip nano-tije) în două tipuri de matrice polimerice: PVP (**polyvinylpyrrolidone**) și PVDF-TrFE (**[poly(vinylidene fluoride-co-trifluoroethylene)]**). Straturile dielectrice compozite ce au fost integrate în condensatoarele folosite în circuitele oscilante au fost elaborate prin diverse metode de depunere: drop casting, spin-coating și electrospining.

În acest sens, au fost construite în cadrul acestei activități o serie de setup-uri TDO pentru a putea măsura proprietățile dielectrice și magnetice în temperatura, lumina și presiune variabilă, cu accent pe măsurători în temperatura și frecvență variabilă. Gama de frecvențe a fost modulată prin modificarea componentelor circuitelor.

Figurile de mai jos prezintă imagini cu diferite setup-uri utilizate în cadrul aceste activități.



**Figura 2.1.** Setup TDO montat pe celula optică Linkam cu temperatura variabilă (77K - 600K) pentru măsurători de susceptibilitate magnetică a unui sistem de nanoparticule SCO depuse pe bobina planară



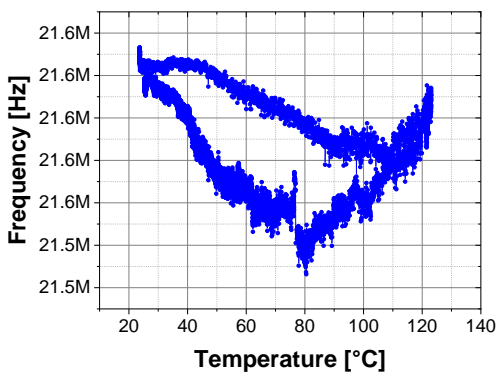
**Figura 2.2.** Exemple de măsurători TDO vs. temperatură obținute în celula Linkam cu bobina planară cu SCO (cu și fără PVP)



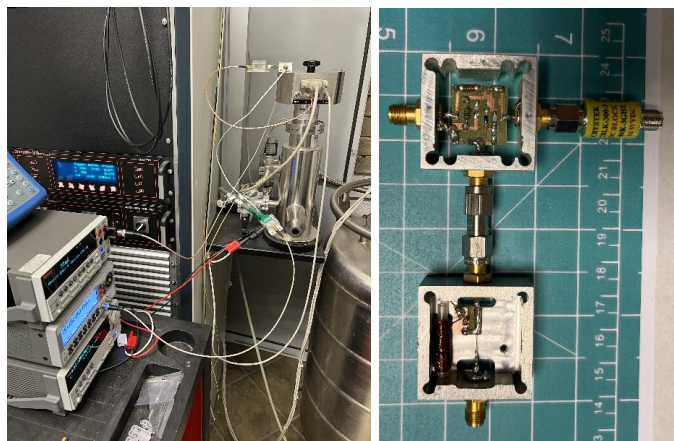
Setup-urile obținute au fost integrate și în celula de presiune, ce permite variația atât a presiunii cât și a temperaturii (vezi figura 2.3) cât și în criostatul spectrometrului de impedanță (vezi figura 2.5).



**Figura 2.3.** Setup TDO pe celula cu presiune variabila (0-3000bar) și temperatura variabila (300-523K) pentru măsurători de susceptibilitate cu bobina solenoid

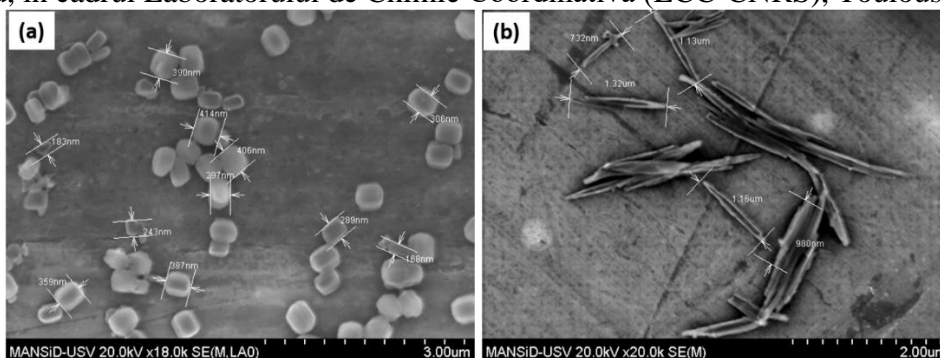


**Figura 2.4.** Frecvența TDO vs. Temperatura înregistrată în celula cu presiune pentru o bobina de tip solenoid cu miez SCO (dreapta)



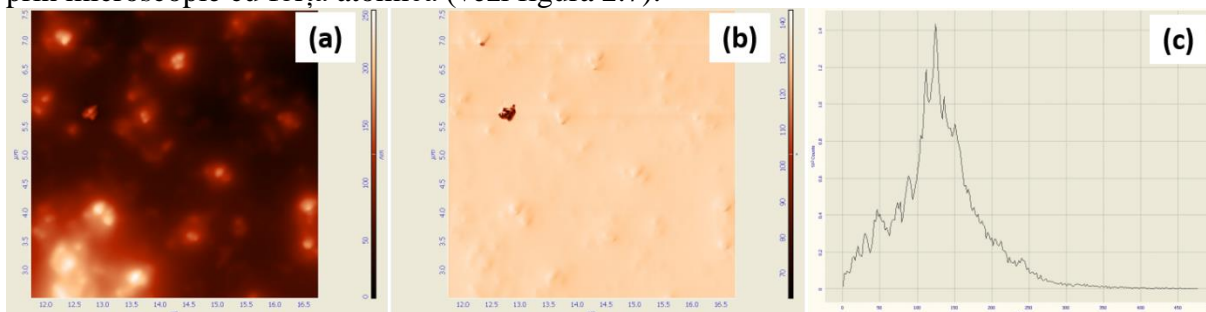
**Figura 2.5.** Setup TDO pe modul cu temperatura variabila (100-600K) pentru măsurători dielectrice, în care elementul activ pe bază de SCO a fost integrat ca dielectric în condensatori.

În figura 2.6 sunt redate imaginile SEM obținute pe sistemele de nanoparticule ale compusului cu tranziție de spin  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  sintetizate cu morfologii diferite. Sistemele cu tranziție de spin folosite în studiile noastre au fost sintetizate de către grupul coordonat de către Dr. Azzedine Bousseksou, în cadrul Laboratorului de Chimie Coordinativă (LCC-CNRS), Toulouse, Franța.



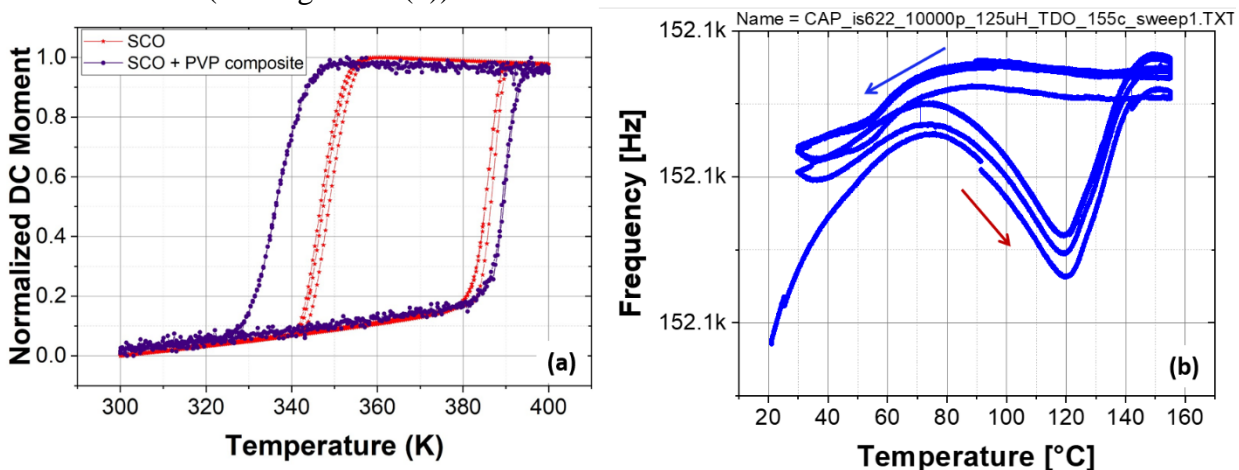
**Figura 2.6.** Imagini SEM înregistrate pe compusul molecular cu tranziție de spin  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$ , sintetizat cu diferite morfologii: (a) evasi-sferice și (b) sub formă de structuri 1D (nano-tije).

Dispersia particulelor în matricea polimerică a fost verificată atât prin microscopie optică cât și prin microscopie cu forță atomică (vezi figura 2.7).



**Figura 2.7.** Imagini AFM: (a) imagine topografică; (b) imagine de fază și (c) distribuția rugozității suprafeței înregistrate pe materialul compozit PVP- $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  depus prin spin-coating pe substrat de sticlă

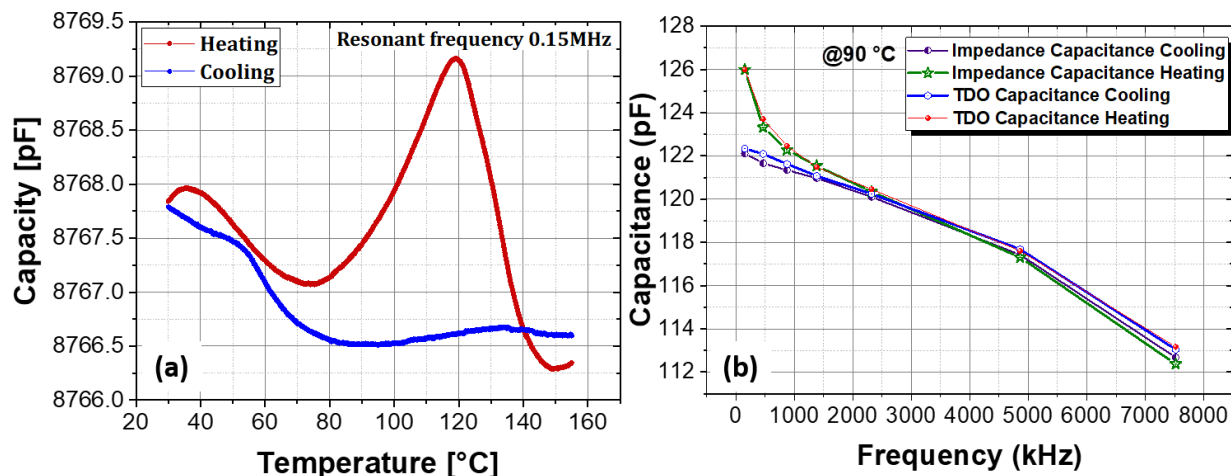
Filmele compozite obținute au o rugositate medie de cca. 110 nm, fiind puternic influențată de dimensiunile relativ mari ale nanoparticulelor folosite. Proprietățile de tranziție de spin au fost testate prin măsurători magnetice (vezi figura 2.8(a)), prin spectroscopie de impedanță (BDS) și măsurători TDO (vezi figura 2.8(b)).



**Figura 2.8.** Variația cu temperatura: (a) a momentului magnetic înregistrat pe compusul SCO pur și materialul compozit și (b) a frecvenței de rezonanță înregistrate pe materialul compozit PVP- $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$ .

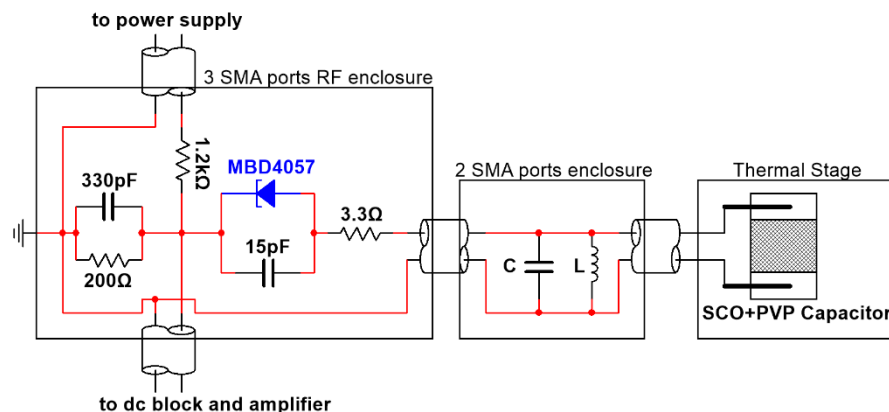


Așa cum se poate observa din figura de mai sus, filmul compozit își păstrează proprietățile de tranziție de spin, prezentând un ciclu de histerezis termic. Un aspect foarte important pe care dorim să-l subliniem aici este prezența unui puternic efect de matrice în compozitul analizat. Astfel, putem observa că prin introducerea particulelor SCO în matricea polimerică conduce la o creștere a cooperativității sistemului cu tranziție de spin, tradus printr-o creștere importantă a lărgimii ciclului de histerezis termic. Tranziția de spin indusă termic a putut fi pusă în evidență și prin măsurători TDO (vezi figura 2.8 (b)), măsurători care sunt în bună concordanță cu măsurătorile magnetice. Măsurătorile efectuate în circuitul rezonant permit extragerea variației termice ale capacității electrice ale condensatorului folosit, iar valorile obținute sunt în perfectă concordanță cu cele obținute în măsurătorile BDS (vezi figura 2.9).



**Figura 2.9.** (a) Variația termică a capacității electrice extrasă din măsurători TDO și (b) Dependența de frecvență a capacității electrice obținute prin măsurători TDO și prin spectroscopie de impedanță.

În cele ce urmează sunt prezentate o serie de rezultatele obținute utilizând un circuit cu oscilator cu diodă tunel (TDO) pentru a efectua măsurători de frecvență radio (RF) în funcție de temperatură pe condensatorul dielectric compozit SCO+PVP din Figura 1.6 (mijloc)



**Figura 2.10.** Circuitul folosit pentru investigarea proprietăților condensatorului SCO în modul de temperatura cu azot lichid din Fig. 2.5

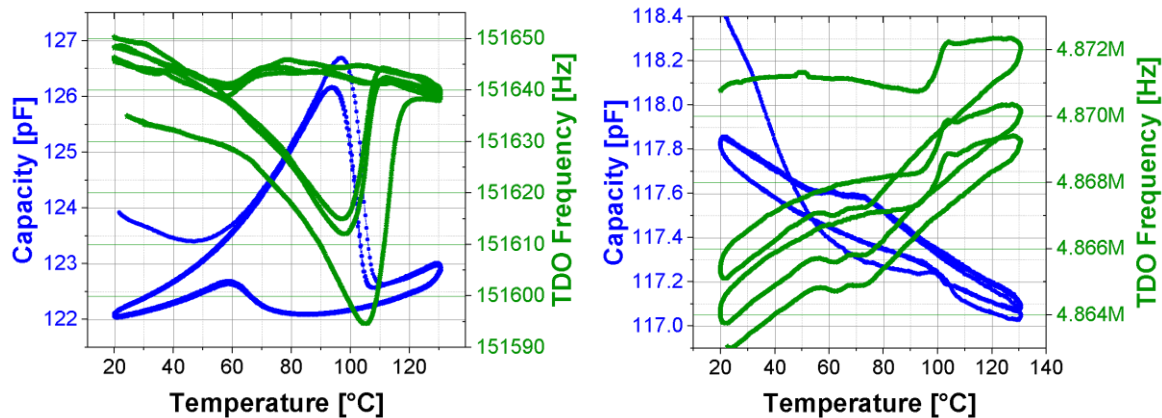
Prin alegerea diferitelor valori pentru L și C, putem seta frecvența de rezonanță a oscilatorului. În configurarea noastră, am reușit să obținem oscilații în intervalul 100 kHz - 50 MHz, construind bobine cu valori ale inductanței cuprinse între 0,5 μH și 150 μH și alegând valori de condensatoare între 10 pF și 12000 pF. Circuitul necesită între 1,1 și 2V pentru a funcționa, un bloc de curent

continuu și un amplificator x10 (opțional), și un frecventmetru. Configurația noastră are o stabilitate tipică a frecvenței de 5 ppm la temperatura camerei (RT).

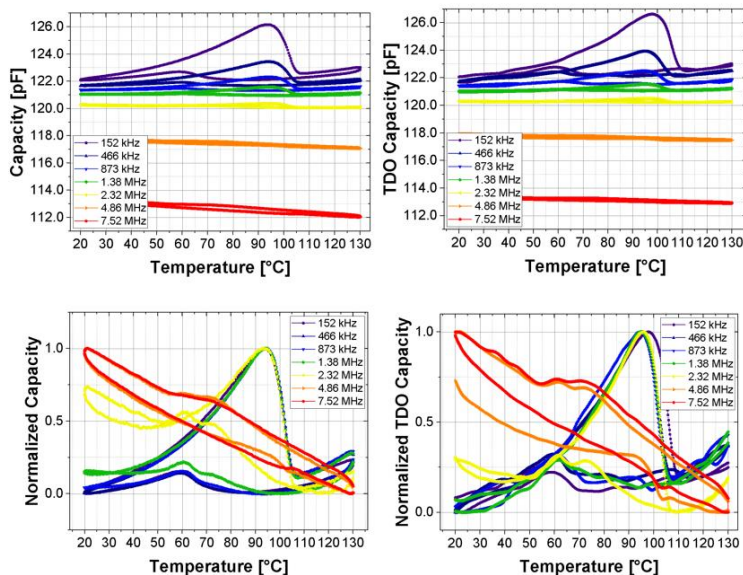
Pentru a studia dependența de temperatură a dielectricului, am montat condensatorul SCO+PVP într-un etaj de temperatură controlat cu azot (pentru uniformitate termică în întreaga asamblare a condensatorului). Condensatorul este conectat, printr-un cablu ecranat SMA, în paralel cu rezervorul LC și circuitul TDO, ambele menținute la temperatura camerei (RT). Având în vedere valoarea aproximativă de 100 pF a capacității condensatorului SCO+PVP, am selectat diferite valori pentru C în paralel (anume 0, 470, 1000, 1500 și 10000 pF) și am construit bobine cu diferite valori pentru L (anume 3, 6, 21 și 100  $\mu$ H) pentru a obține diferite frecvențe rezonante. Prin combinarea diferitelor valori pentru L și C, am putut testa dependența de temperatură a dielectricului SCO+PVP la 7,52 MHz, 4,86 MHz, 2,32 MHz, 1,38 MHz, 873 kHz, 466 kHz și 152 kHz, măsurând variația frecvenței odată cu temperatura. Toate măsurătorile implică 3 cicluri termice complete de încălzire/răcire între 20°C și 130°C, la 2°C/min, cu o așteptare de 5 minute la fiecare temperatură extremă.

Am comparat rezultatele cu dependența termică a capacității condensatorului SCO+PVP, măsurată cu un spectrometru de impedanță NOVOCONTROL GmbH pentru cele 7 valori de frecvență menționate mai sus, sub variații de temperatură similare.

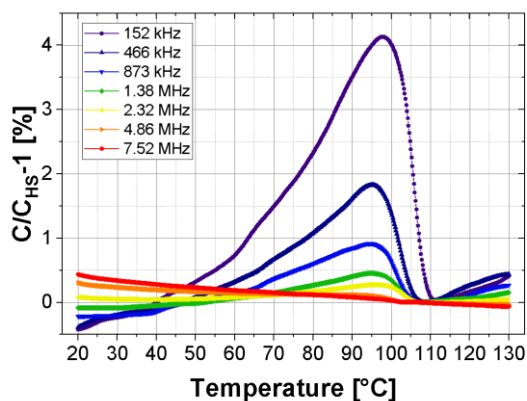
Dependența de frecvență obținută în funcție de temperatură pentru 2 valori de frecvență rezonantă măsurate cu TDO este prezentată în figura de mai jos. De asemenea, prezentăm datele obținute utilizând Spectrometrul de Impedanță în scop de comparație.



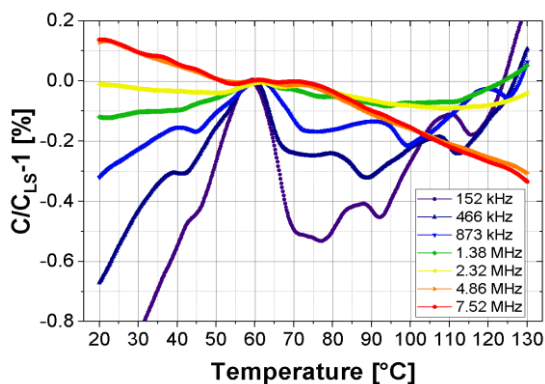
**Figura 2.11.** Măsurători utilizând metoda TDO versus Spectrometria de Impedanță pentru 152 kHz și 4,87 MHz.



**Figura 2.12.** Măsurarea capacității cu un spectrometru de impedanță versus temperatura pentru 7 frecvențe de excitare diferite (stânga) și Capacitatea estimată cu TDO în Temperatură (dreapta). Valori normalizate mai jos.



**Figura 2.13.** Curbele de încălzire (de la LS la HS) ale capacității în temperatură din măsurătorile TDO pentru cele 7 frecvențe rezonante diferite. Datele fiecărei curbe sunt împărțite la valoarea capacității la aproximativ 107 °C (Valoare minimă a HS).



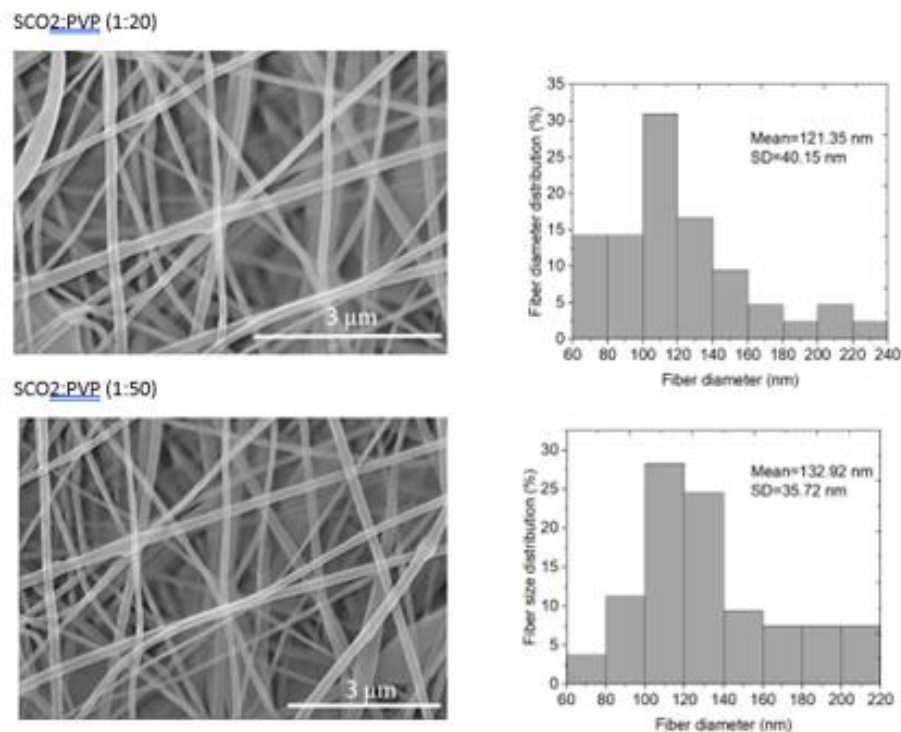
**Figura 2.14.** Curbele de răcire (de la HS la LS) ale capacității în temperatură din măsurătorile TDO pentru cele 7 frecvențe rezonante diferite. Datele fiecărei curbe sunt împărțite la valoarea capacității la aproximativ 60 °C (Valoare maximă a LS).



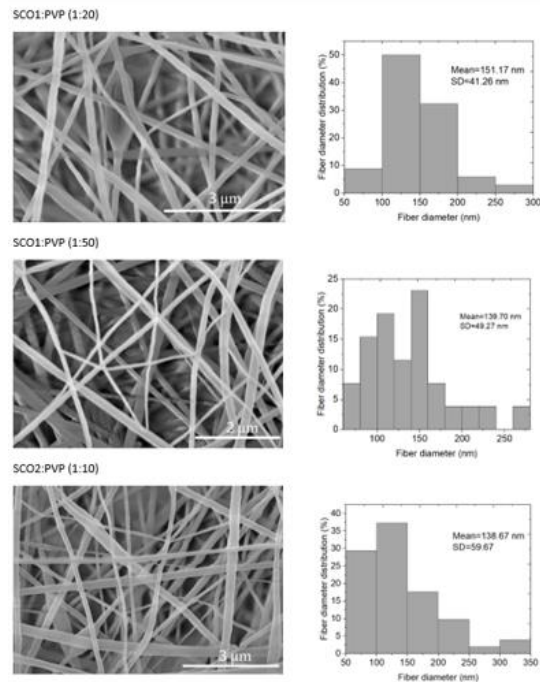
Pentru a amplifica efectul de matrice observat, am introdus particulele SCO în nanofibre compozite prin electrospining. Astfel, au fost elaborate o serie de nanofibre compozite de tip polimer-SCO, cu diferite concentrații ale materialului de umplere (SCO) folosind cei doi polimeri menționați mai sus: PVP și respectiv PVDF-TrFE. Din analiza SEM, s-a observat că fibrele compozite obținute au un diametru mediu de aprox. 120 nm (în fibrele pe bază de PVP) și de aprox. 150 nm (în fibrele pe bază de PVDF-TrFE) (vezi fig. 2.15 și respectiv fig. 2.16). Prezența particulelor cu tranziție de spin în fibrele compozite a fost confirmată prin analiza EDX (vezi fig. 2.17). Proprietățile de tranziție de spin ale fibrelor compozite au fost analizate prin măsurători magnetice (SQUID), acestea prezentând o tranziție de spin indusă termic, însoțită de un ciclu de histerezis mult mai larg decât al ciclului prezentat de nanoparticulele cu tranziție de spin pure (vezi fig. 2.18 și fig. 2.19). Variația lărgimii ciclului de histerezis termic ale fibrelor compozite PVP-SCO, obținute prin înglobarea celor două sisteme de particule cu tranziție de spin prezentate în fig. 2.6 sunt sintetizate în tabelul de mai jos.

**Tabel 1.** Lărgimea ciclurilor de histerezis termic, extrase din fig. 2.18 și respectiv 2.19.

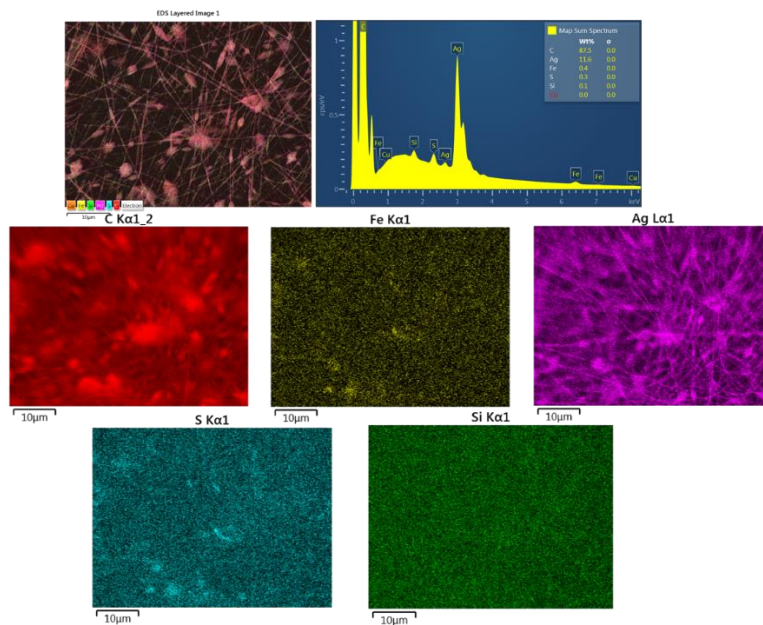
Sample	SCO1=[Fe(NH <sub>2</sub> -trz) <sub>3</sub> ](SO <sub>4</sub> )	SCO1-PVP (1:20)	SCO1-PVP (1:50)	
ΔT	9 K	50 K	51 K	
Sample	SCO2=[Fe(Htrz) <sub>2</sub> (trz)](BF <sub>4</sub> )	SCO2-PVP(1:10)	SCO2-PVP (1:20)	SCO2-PVP (1:50)
ΔT	32 K	49 K	58 K	47 K



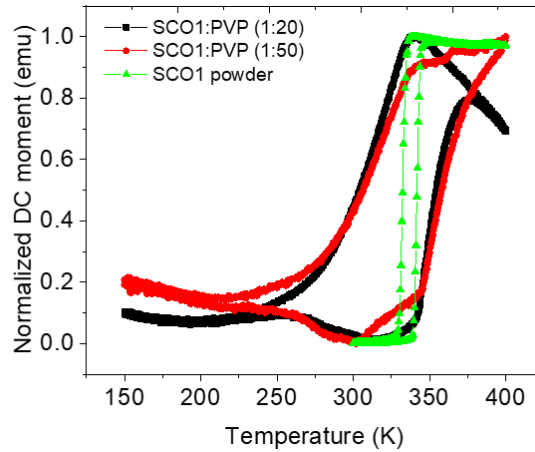
**Figura 2.15.** (stânga) Imagini SEM și histogramele după diametre înregistrate pe nanofibrele compozite PVP-[Fe(Htrz)<sub>2</sub>(trz)](BF<sub>4</sub>) cu diferite concentrații de particule SCO. (dreapta) Histogramele după diametrele fibrelor compozite.



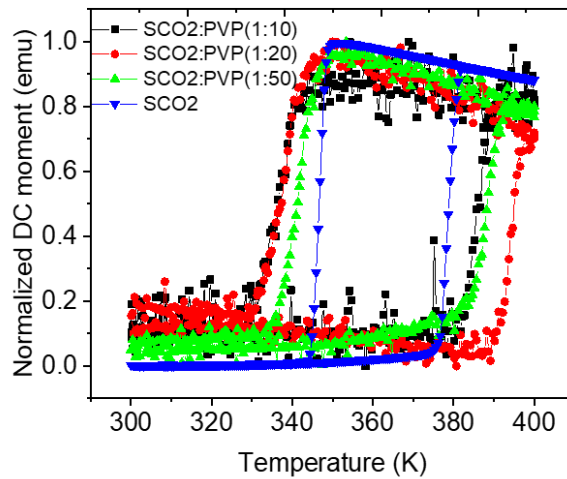
**Figura 2.16.** (stânga) Imagini SEM și histogramele după diametre înregistrate pe nanofibrele compozite PVP- $[\text{Fe}(\text{NH}_2\text{-trz})_3](\text{SO}_4)$  cu diferite concentrații de particule SCO. (dreapta) Histogramele după diametrele fibrelor compozite.



**Figura 2.17.** Hartile elementale si spectrul EDX înregistrate pe nanofibrele compozite PVP-  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$ , obținute într-o proporție de 1:50. Măsurătorile proprietăților magnetice, în temperatură variabilă, ale sistemelor de fibre compozite obținute sunt prezentate în figurile 2.13 și 2.14.



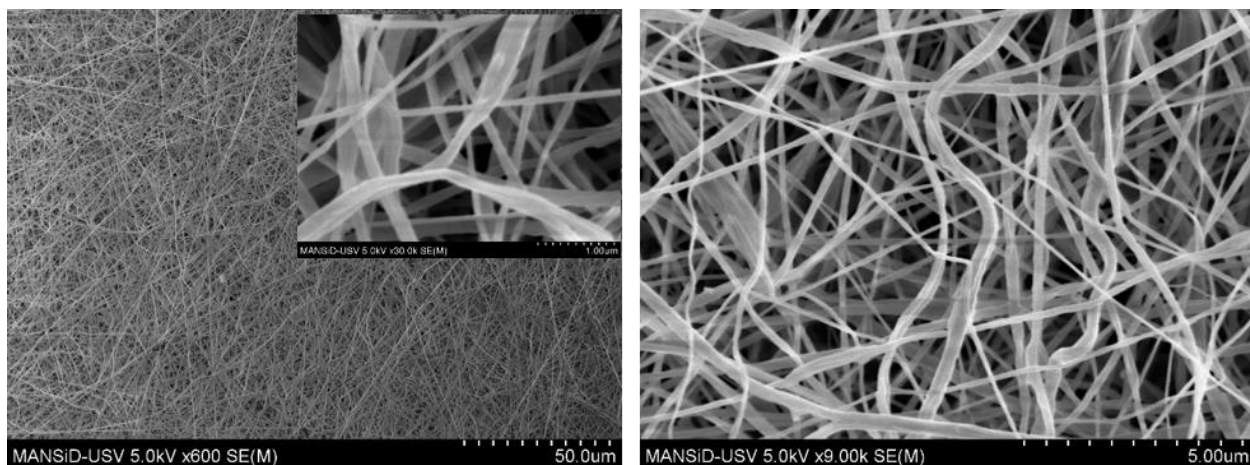
**Figura 2.18.** Dependența termică a momentului magnetic normalizat, înregistrate pe complexul cu tranziție de spin  $[\text{Fe}(\text{NH}_2\text{-trz})_3](\text{SO}_4)$ , și pe fibrele compozite PVP- $[\text{Fe}(\text{NH}_2\text{-trz})_3](\text{SO}_4)$  cu proporții diferite ale materialului de umplere.



**Figura 2.19.** Dependența termică a momentului magnetic normalizat, înregistrate pe complexul cu tranziție de spin  $[\text{Fe}(\text{NH}_2\text{-trz})_3](\text{SO}_4)$ , și pe fibrele compozite PVP- $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  cu proporții diferite ale materialului de umplere.

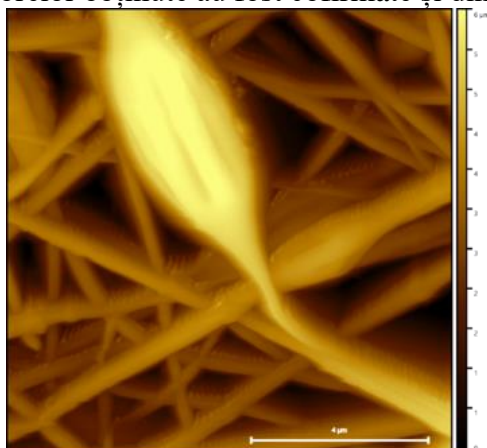
Rezultate similare au fost obținute și pe fibrele compozite PVDF-TrFE – SCO.





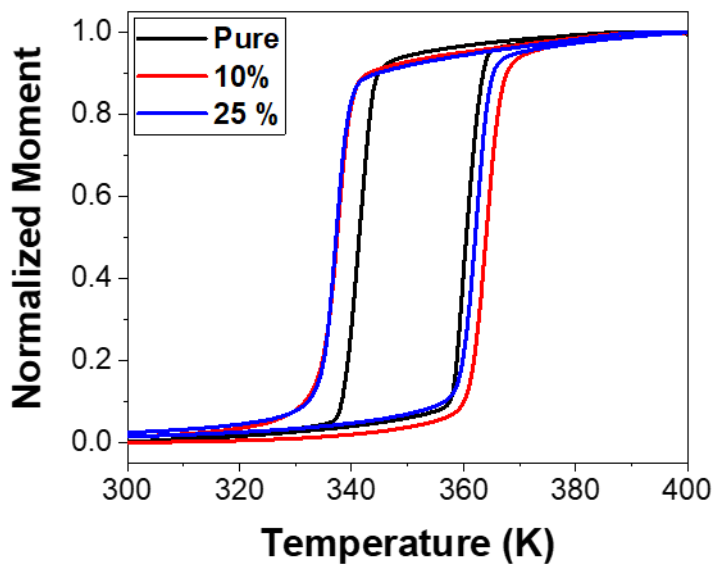
**Figura 2.20.** Imagini SEM înregistrate pe nanofibrele compozite PVDF-TrFE -  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$

Morfologia și dimensiunile fibrelor obținute au fost confirmate și din analiza AFM (vezi fig. 2.21).

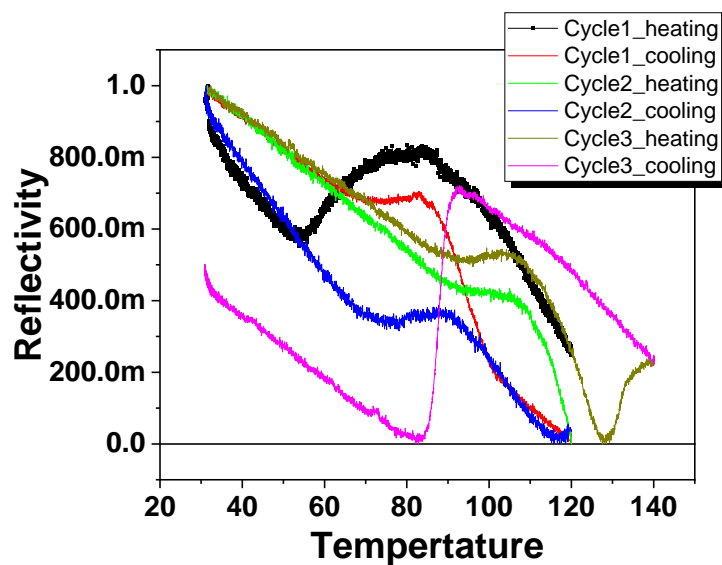


**Figura 2.21.** Imagine topografică AFM înregistrată pe nanofibre compozite PVDF-TrFE -  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$

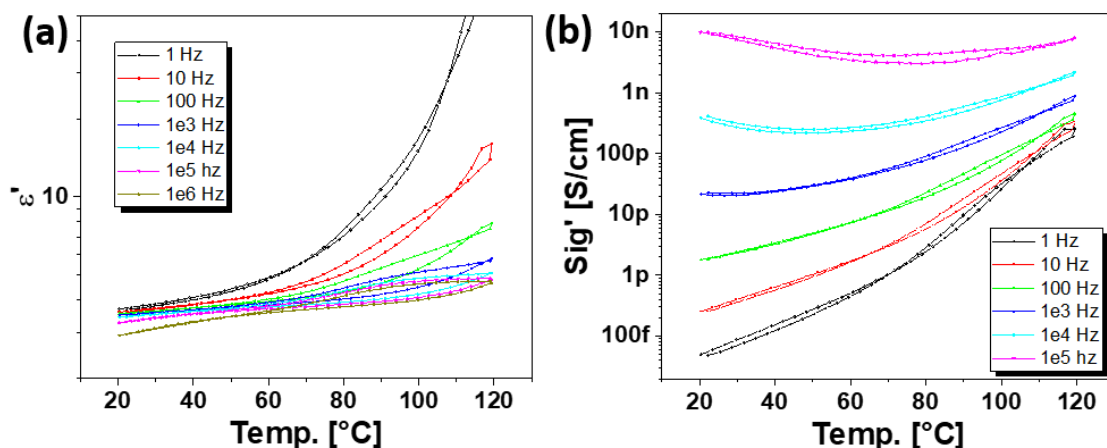
Proprietățile de tranziție de spin ale fibrelor compozite PVDF-TrFE -  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  au fost confirmate prin măsurători magnetice (vezi fig. 2.22), măsurători optice (vezi fig. 2.23), măsurători electrice și dielectrice (vezi fig. 2.25 și fig. 2.26)



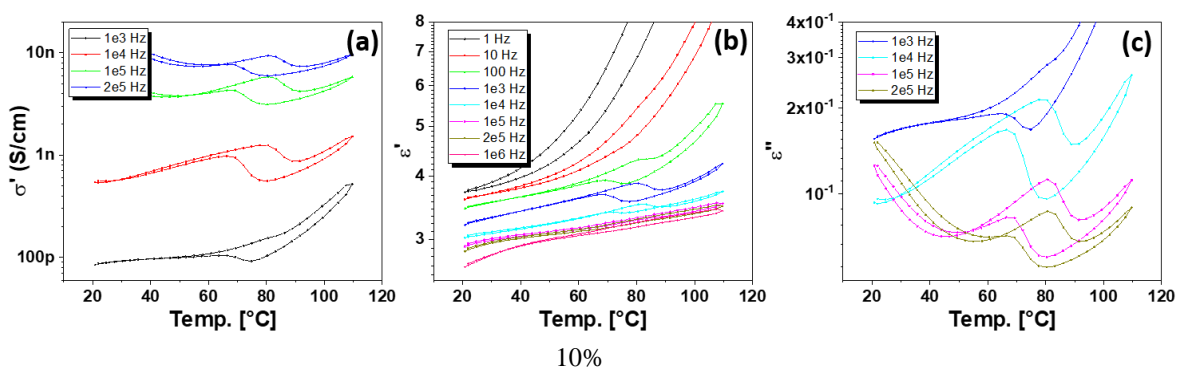
**Figura 2.22.** Dependența termică a momentului magnetic normalizat, înregistrate pe complexul cu tranziție de spin -  $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  și pe fibrele compozite PVDF-TrFE- $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$  cu diferite concentrații ale materialului de umplere.



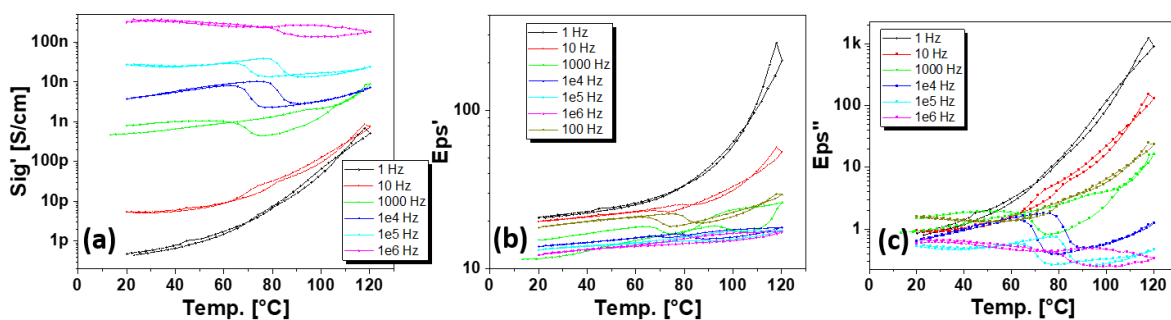
**Figura 2.23.** Set de cicluri termice succesive ale reflectanței, înregistrate pe fibre compozite PVDF-TrFE- $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$ .



**Figura 2.24.** Dependența termică a permitivității dielectrice și a părții reale a conductiei electrice a.c., înregistrate la diferite frecvențe pe matricea polimerică PVDF-TrFE.



**Figura 2.25.** Dependența termică a: (a) părții reale a conductiei electrice a.c.; (b) partea reală a permitivității dielectrice și (c) partea imaginară a permitivității dielectrice înregistrate pe fibrele compozite PVDF-TrFE (90%) - - [Fe(Htrz)<sub>2</sub>(trz)](BF<sub>4</sub>) (10%).

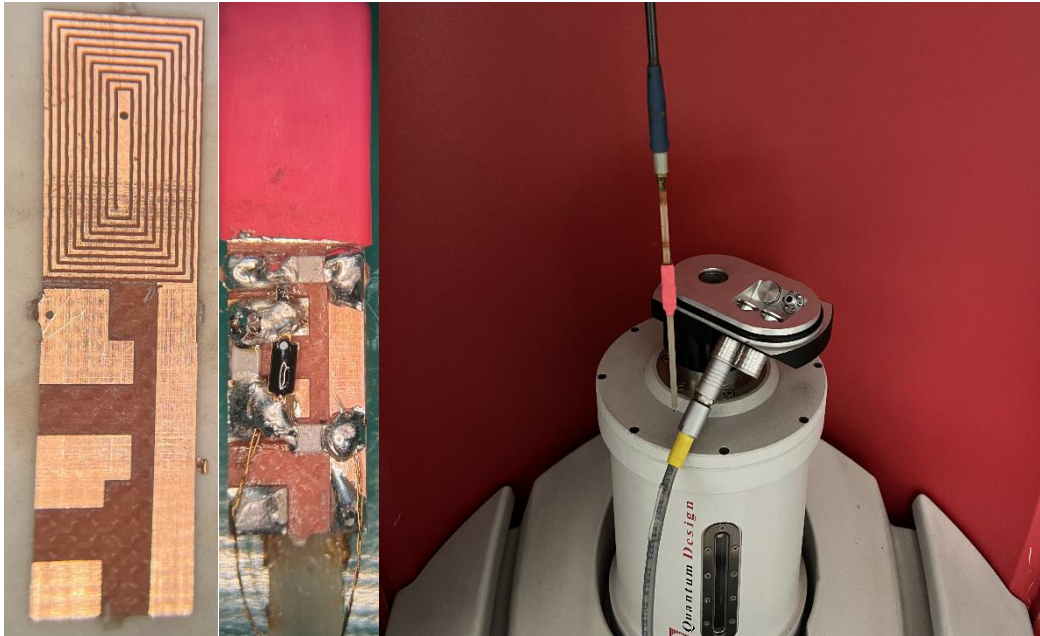


**Figura 2.26.** Dependența termică a: (a) părții reale a conductiei electrice a.c.; (b) partea reală a permitivității dielectrice și (c) partea imaginară a permitivității dielectrice înregistrate pe fibrele compozite PVDF-TrFE (75%) - - [Fe(Htrz)<sub>2</sub>(trz)](BF<sub>4</sub>) (25%).



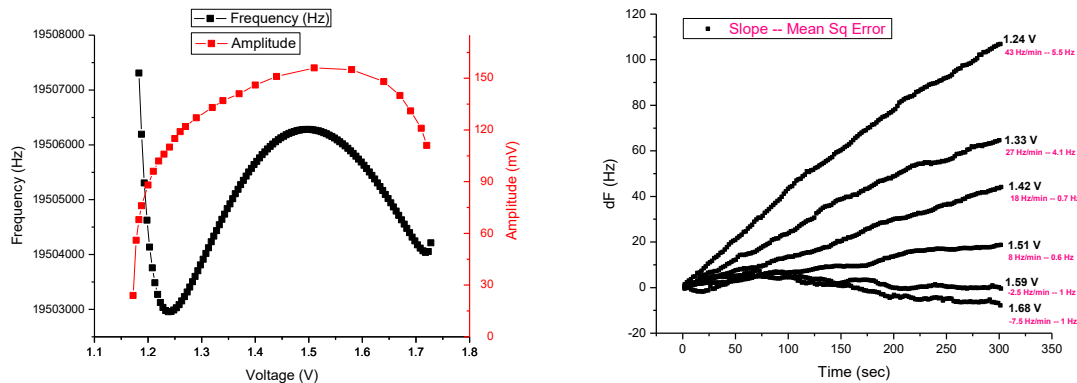
**Activitatea 2.3: Efectuarea de masuratori magnetice in temperatura variabila in criostat cu heliu lichid** presupune integrarea circuitelor TDO in criostatul cu heliu lichid si caracterizarea proprietatilor magnetice in temperatura variabila 1.8K-400K, pentru o serie de materiale SCO de diferite dimensiuni.

In cadrul acestei activități am reușit incorporarea si testarea unui circuit TDO intr0un magnetometru SQUID MPMS3 de la Quantum Design care permite măsurători in gama de temperaturi 2-400K (<heliu lichid – 130C). Concomitent, putem aplica si un camp magnetic de pana la 7T si încercam incorporarea si unei surse de lumina pentru testarea efectului Liesst.

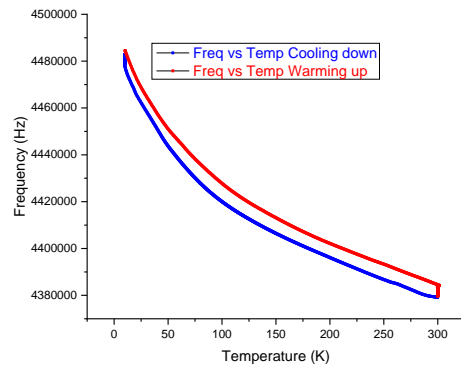


**Figura 3.1.** Setup TDO pe magnetometru MPMS3 cu temperatura variabila (2-400K) pentru măsurători de susceptibilitate magnetica a nanoparticule SCO pe bobina planară

Am construit o serie de circuite pentru a găsi combinația care sa permită oscilații in gama larga de temperaturi. Circuitul ales a fost testat in timp si temperatura pentru stabilitate si semnal de fundal.

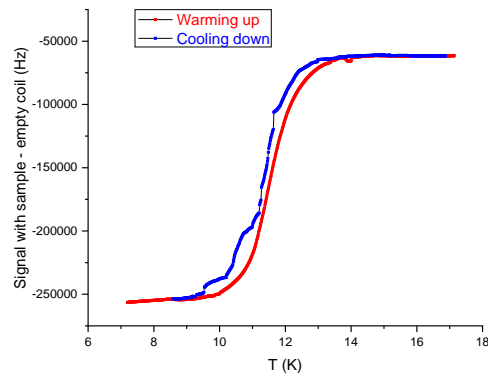


**Figura 3.2.** Variatia frecventei TDO in tensiune (stânga) si timp (dreapta).



**Figura 3.3.** Variația frecvenței TDO cu bobina planara goala in gama de temperatura 10-300K in criostat cu heliu lichid

Am testat capacitatea circuitului măsurând susceptibilitatea magnetica a unei bucăți de Niobiu supraconductor urmând ca in luna decembrie a acestui an sa testam variația susceptibilității nanoparticulelor SCO.



**Figura 3.4.** Variația frecvenței TDO pentru Niobiu supraconductor intre 6 si 14K.

## Sumar al progresului

**2 participari la conferinte internationale** (din una propusă pentru aceasta etapă)

**3 articole stiintifice in curs de publicare** (din două propuse pentru aceasta etapă)

Activitati programate	Livrabile	Grad de realizare
<b>Etapa 2 - Analiza proprietatilor magnetice ale nanostructurilor SCO</b>		
<b>Act 2.1</b> - Testare si validare circuite TDO	- Peste 30 de variații de circuite TDO cu diferite combinații de condensatori/bobine ce incorporează nanoparticule SCO construite, testate si optimizate pentru diferite setup-uri	100%
<b>Act 2.2</b> - Efectuarea de măsurători magneto-optice in temperatura variabila in criostat cu azot lichid	- S-au efectuat o serie de măsurători ale susceptibilitatii magnetice/permeabilitatii dielectrice pentru nanoparticule SCO in temperatura, frecventa, lumina si presiune variabilă; - 2 articole in curs de redactare ce vor fi trimise spre evaluare în cursul lunii decembrie 2023.	100%
<b>Act 2.3</b> - Efectuarea de masuratori magnetice in temperatura variabila in criostat cu heliu lichid	Am incorporat circuitul TDO in magnetometrul MPMS3 si am efectuat o serie de măsurători în temperatura variabilă. Circuitul a fost optimizat pentru a-i asigura stabilitatea în gama de temperatura: 1.8-400 K.	100%
<b>Act 3.1</b> - Efectuarea de masuratori dielectrice/optice in temperatura variabila in criostat cu azot lichid	- S-au efectuat o serie de măsurători ale capacitații unor condensatori cu nanoparticule SCO in temperatura si frecvență variabilă - 1 articol in curs de redactare ce va fi trimis în cursul lunii decembrie 2023.	100%

**Director proiect**

**lect. univ. dr. Andrei DIACONU**