

Programul din PNCDI III-Program2 – Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare și inovare

Finanțare: bugetul de stat și din alte surse atrase

Autoritate contractantă: Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI)

Programul din PNCDI III: Program 2 - Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare și inovare, **Subprogram 2.1.:** Competitivitate prin cercetare, dezvoltare și inovare

Direcția de cercetare: 4 - Eco-nanotehnologii și materiale avansate

Contractor: Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA (INCDIE ICPE-CA);

Partener 1: MAIRA MONTAJ SRL

Tipul proiectului: Proiect Experimental Demonstrativ (PED);

Cod proiect: PN-III-P2-2.1-PED-2019-5337; **Contract 327 PED/2020**

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC - ETAPA 2/2021 la Contract Nr. 327 PED/2020 “Dezvoltarea de varistoare fiabile pe bază de oxizi metalici pentru îmbunătățirea efectului protector al descărcătoarelor de supratensiuni” (Acronim proiect: REMOVAR)

Denumirea etapei: Cercetare industrială privind realizarea și caracterizarea modelelor experimentale (ME) și modelelor functionale (MF) de varistoare pe bază de oxizi metalici sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni

Perioada de derulare a etapei: 01.01.2021 - 31.12.2021

Activități / Partenerii implicați în realizarea activității:

Activitate 2.1. Realizare modele experimentale (ME) de varistoare pe bază de oxizi metalici (MOV) sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni și caracterizarea ME de varistoare din punct de vedere structural (analize XRD), fizico-chimic (densitate hidrostatică, analize SEM, EDX/XRF), optic (spectrometrie UV-Vis), mecanic (teste de indentare instrumentate) și electric (în condiții de laborator)/CO, P1

Activitate 2.2. Realizare modele functionale (MF) de varistoare pe bază de oxizi metalici (MOV) sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni și caracterizarea ME de varistoare din punct de vedere mecanic (teste de indentare instrumentate) și funcțional (teste electrice în descărcătoare de supratensiuni); Elaborarea raportului de etapă / CO, P1

Activitate 2.3. Diseminarea rezultatelor proiectului pe scară largă prin participarea la manifestări tehnico-stiințifice naționale sau internaționale din domeniul specific proiectului publicarea/transmiterea spre publicare și comunicarea de articole științifice ISI/BDI; Actualizarea paginii web a proiectului / CO, P1

Rezultate așteptate: ME de varistoare disc pe bază de oxizi metalici (MOV): minim 12; MF de MOV: 2; Cerere de brevet de invenție înregistrată la OSIM: 1; Participări la manifestări tehnico-științifice naționale/internaționale: 3; Lucrări comunicate la manifestări tehnico-științifice naționale/internaționale: 3; Lucrări transmise spre publicare/publicate în jurnale cotate ISI/BDI: minim 2; Pagina web a proiectului actualizată; Raport de etapă

Colectiv de lucru:

CO: INCDIE ICPE-CA

Director de proiect: Dr. Ing. Lungu Magdalena Valentina

Membri CO:

Dr. Ing. Tălpeanu Dorinel

Dr. Fiz. Cîrstea Cristiana Diana

Dr. Ing. Pătroi Delia

Dr. Fiz. Sbarcea Gabriela

Dr. Ing. Caramitu Alina

Dr. Ing. Velciu Georgeta

Drd. Fiz. Marinescu Virgil

Drd. Ing. Marin Mihai

Dr. Ing. Manea Ciprian

Dr. Ing. Pinteana Jana

Dr. Ing. Lucaci Mariana

Dr. Ing. Tsakiris Violeta

Dr. Ing. Ion Ioana

Florea Cristina

Fierăscu Eugenia

Ghiță Marian

Cosac Adrian

Cârlan Maria Steliana

P1: MAIRA MONTAJ SRL

Responsabil de proiect:

Ing. Godeanu Petrișor

Membri P1:

Ing. Barbu Alexandra

Ing. Cerga Dan Viorel

Ing. Chitaigoroski Gabriel Mirell

Ing. Banu Izabela

Ing. Costescu Claudiu

Tehn. Georgescu Gheorghe

Director de proiect,
 Dr. Ing. Lungu Magdalena Valentina

REZUMATUL ETAPEI DE EXECUȚIE

În Etapa 2/2021 a proiectului REMOVAR, Contract nr. 327 PED/2020, derulat în cadrul programului PNCDI III - Program 2 - Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare și inovare au fost prevăzute și îndeplinite activități de cercetare industrială, care vor conduce în etapa următoare la elaborarea de prototipuri de noi materiale compozite sinterizate de tip varistoare pe bază de oxizi metalici (MOV) sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni de medie tensiune (MVSA), precum și la validarea tehnologiei de fabricare a acestora prin activități de dezvoltare experimentală.

Capitolul 1 prezintă activitatea de cercetare industrială A.2.1. *Realizare modele experimentale (ME) de varistoare pe bază de oxizi metalici (MOV) sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni și caracterizarea ME de varistoare din punct de vedere structural (analize XRD), fizico-chimic (densitate hidrostatică, analize SEM, EDX/XRF), optic (spectrometrie UV-Vis), mecanic (teste de indentare instrumentate) și electric (în condiții de laborator).* În cadrul acestei activități au fost realizate ME de pulberi compozite pe bază de $\text{SnO}_2 + \text{MO}$ și $\text{ZnO} + \text{MO}$ de diverse compoziții chimice (loturi de câte 0,5 kg/ME) prin procedee mecanice de omogenizare a pulberilor compozite, care au fost utilizate pentru obținerea de ME de MOV disc prin 2 procedee: (a) sinterizare în plasmă de scânteie (SPS) și/sau (b) tehnici clasice ale metalurgiei pulberilor (MP). Au fost realizate 20 ME de MOV disc, cu diametru de 20-32 mm și înălțime 3-13 mm (câte 3-10 buc/ME), din care 12 ME codificate AMV3-AMV5 S-A1-SA3 (SPS), D1-D3 S (SPS) au fost realizate prin SPS și 8 ME codificate AMV3-AMV5 S-A (MP), D1-D5 S-A (MP) au fost realizate prin MP, care au fost caracterizate prin analize XRD, SEM și EDX, spectrometrie UV-Vis, teste de indentare instrumentate și teste electrice (în condiții de laborator). Rezultatele analizelor și testelor efectuate au relevat potențialul MOV disc de tip D4 S-A (MP), D5 S-A (MP), AMV3 S-A (MP) și AMV4 S-A (MP) de a fi utilizate ca MF.

Capitolul 2 prezintă activitatea de cercetare industrială A.2.2. *Realizare modele funcționale (MF) de varistoare pe bază de oxizi metalici (MOV) sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni și caracterizarea ME de varistoare din punct de vedere mecanic (teste de indentare instrumentate) și funcțional (teste electrice în descărcătoare de supratensiuni).* În cadrul acestei activități au fost realizate 2 MF de MOV disc de tip D4 S-A și D5 S-A prin metode clasice ale MP, care au fost testate mecanic și funcțional prin teste dielectrice în condiții de laborator (ambele tipuri de MF) și prin teste electrice în descărcătoare de supratensiuni (D5 S-A). Au fost determinați parametrii principali de funcționare pentru probele de MF D5 S-A (MP) supuse testelor electrice specifice: U_n : 25 kV, U_c : 12 kV și I_c : 1 mA.

Capitolul 3 prezintă activități de diseminare a rezultatelor proiectului pe scară largă și protecția cunoștințelor intelectuale. Aceste activități au fost îndeplinite de partenerii proiectului prin elaborarea raportului de etapă, actualizarea paginii web a proiectului în limba română pe site-ul CO, publicarea unui articol în extenso într-un Proceedings și a unui abstract în Book of Abstracts a 2 conferințe internaționale, realizarea a 2 participări cu o comunicare orală și o comunicare poster la 2 manifestări tehnico-științifice internaționale din domeniul specific proiectului. Protecția cunoștințelor intelectuale s-a realizat printr-o cerere de brevet de invenție elaborată și înregistrată la OSIM.

Capitolul 4. prezintă concluziile rezultate din activitățile prezentate în capitolele anterioare.

În urma îndeplinirii activităților 2.1-2.3 s-au obținut următoarele rezultate: ► 8 ME de amestecuri de pulberi compozite pe bază de oxizi metalici (loturi de câte 0,5 kg sau 3 kg), codificate AMV3-AMV5, D1-D5; ► 20 ME de MOV disc, de diametru 20-32 mm și înălțime 3-13 mm (câte 3-10 buc/ME), din care 12 ME codificate AMV3-AMV5 S-A1-SA3 (SPS), D1-D3 S (SPS) au fost realizate prin procedeul SPS și 8 ME codificate AMV3-AMV5 S-A (MP), D1-D5 S-A (MP) au fost realizate prin tehnici ale MP; ► 2 MF de MOV disc de tip D4 S-A (MP) (10 buc) și D5 S-A (MP) (65 buc), de diametru 28 mm și înălțime 13 mm; ► o comunicare orală și o comunicare poster la 2 manifestări tehnico-științifice internaționale; ► publicarea unui abstract și a unui articol în extenso; ► o cerere de brevet de invenție elaborată și înregistrată la OSIM; ► actualizarea paginii web a proiectului; ► raportul de etapă - RST pentru Etapa 2/2021.

Având în vedere rezultatele obținute în Etapa 2/2021 a proiectului PED REMOVAR, Contract 327 PED/2020 se consideră îndeplinite activitățile și obiectivele tehnico-științifice prevăzute în Planul de realizare a proiectului, fiind create condițiile pentru continuarea cercetărilor prevăzute în Etapa 3/2022.

DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

Scopul Etapei 2/2021 a constat în realizarea unor modele experimentale (ME) de varistoare pe bază de oxizi metalici (MOV) sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni și caracterizarea acestora din punct de vedere structural, fizico-chimic, optic, mecanic și electric (în condiții de laborator), conform standardelor în vigoare, precum și în realizarea unor modele funcționale (MF) de MOV disc și caracterizarea acestora din punct de vedere mecanic și funcțional (teste dielectrice în condiții de laborator și teste electrice în descărcătoare de supratensiuni) [1-31]. Diseminarea rezultatelor proiectului s-a realizat prin participarea, comunicarea și publicarea unor articole științifice la manifestări tehnico-științifice internaționale din domenii specifice proiectului actualizarea paginii web a proiectului, iar protecția cunoștințelor intelectuale s-a realizat printr-o cerere de brevet de invenție elaborată și înregistrată la OSIM.

CAPITOLUL 1. Realizare modele experimentale (ME) de varistoare pe bază de oxizi metalici (MOV) sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni și caracterizarea ME de varistoare din punct de vedere structural, fizico-chimic, optic, mecanic și electric (în condiții de laborator)

1.1. Realizare ME de MOV disc

Amestecurile de pulberi compozite pe bază de oxizi metalici de $\text{SnO}_2\text{-MeO}$ (AMV3-AMV5, D1-D3) și ZnO-MeO (D4, D5) s-au realizat în loturi de câte 0,5 kg pentru ME de MOV. Pulberile compozite au fost consolidate și densificate prin (a) sinterizare în plasmă de scânteie (SPS) și/sau (b) tehnici clasice ale metalurgiei pulberilor (MP).

1.2. Caracterizare ME de MOV disc

ME de MOV disc au fost investigate prin analize de difracție de raze X, spectrofotometrie UV-Vis, analize SEM și EDX, teste de nanoindentare instrumentată și metoda de calcul Oliver & Pharr [1-6] și teste electrice (în condiții de laborator) conform standardelor SR EN 60099-4 [8] și PE 116/94 [9], [31].

Rezultate obținute

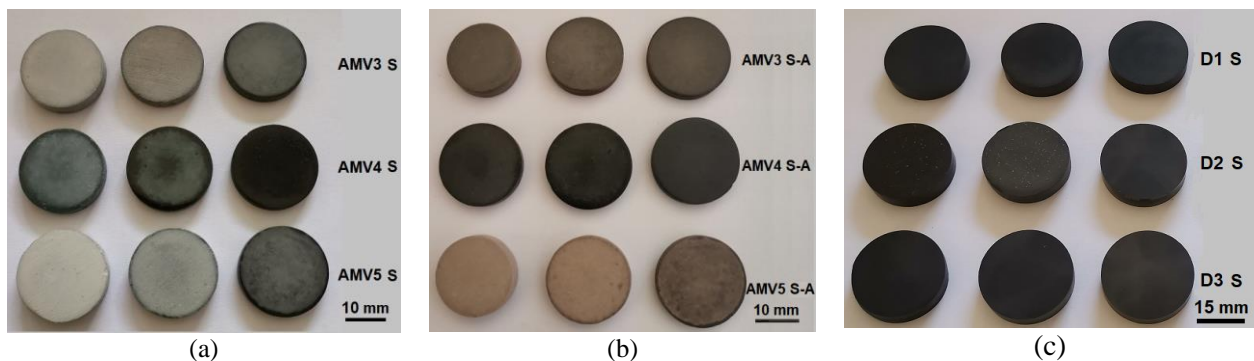


Fig 1.1. Aspectul macrografic al unor probe de ME de MOV disc realizate prin SPS:
 (a) AMV3-AMV5 S1-S3, (b) AMV3-AMV5 S-A1-S-A3, (c) D1-D3 S.

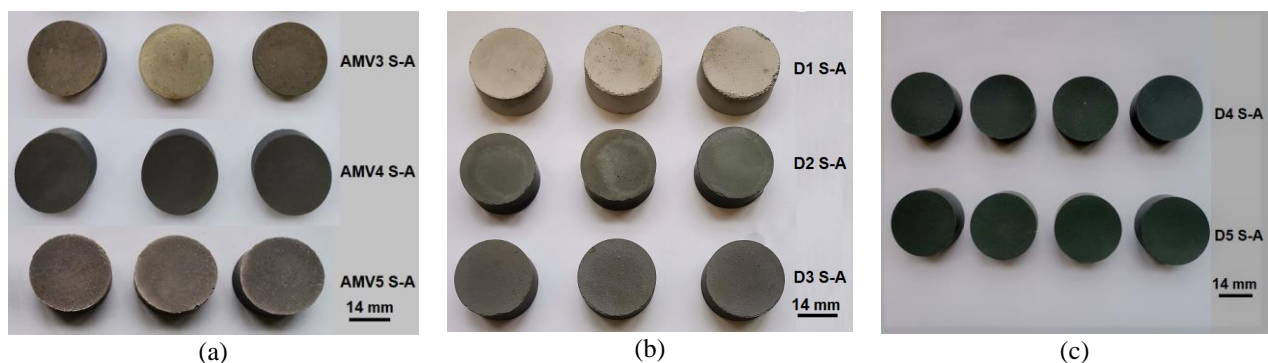


Fig 1.2. Aspectul macrografic al unor probe de ME de MOV disc realizate prin MP:
 (a) AMV3-AMV5 S1-S3, (b) AMV3-AMV5 S-A1-S-A3, (c) D1-D3 S.

Analiza calitativă de fază prin difracție de raze X a evidențiat natura policristalină a probelor de MOV disc investigate. În toate probele de MOV disc analizate prin XRD nu au fost identificate fazele cristalografice specifice MO utilizați ca aditivi ai SnO₂, respectiv ai ZnO, datorită conținutului scăzut de MO, care a fost sub limita de detecție a difractometrului de 5 % [31].

Spectrele de absorbantă în UV-Vis ale ME de MOV disc pe bază de SnO₂+MO (AMV3-AMV5, D1-D3), respectiv pe bază de ZnO+MO (D4, D5) au avut formă asemănătoare și maxime de absorbție (λ_{\max}) în domeniul ultraviolet (UV) la λ_{\max} de 208-218 nm și 259-312 nm [31], care indică amprenta caracteristică spectrului SnO₂ [14], [15], respectiv a ZnO și în domeniul vizibil (Vis) la λ_{\max} de 602-719 nm (AMV4 S-A1-S-A3 (SPS) și AMV5 S-A2-S-A3 (SPS), AMV4 S-A (MP), AMV5 S-A (MP), D2-D5 S-A (MP)) [31]. Spectrele de absorbantă în UV-Vis ale probelor de ME de MOV disc (Ø28 mm x 12-13 mm) realizate prin MP de tip D4 S-A și D5 S-A au avut formă asemănătoare și maxime de absorbție similare spectrului de absorbantă în UV-Vis al unui MOV disc pe bază de ZnO comercial [31].

Din spectrele de absorbantă în UV-Vis ale pulberilor compozite pe bază de SnO₂+ și ZnO+MO, precum și a probelor solide de ME de MOV disc [31] se remarcă faptul că absorbția a scăzut cu creșterea lungimii de undă (λ). Aceasta scădere a absorbției indică prezența unei benzi de energie (E_g) interzisă în pulberi și în probele solide de ME de MOV disc [16].

Toate probele de ME de MOV disc au fost dense, cu porozități aparente mici (0.3-6.72 %), cu excepția probei D1 S-A (MP) (porozitate de 9.84±0.03 %), fapt ce a contribuit la obținerea unor valori ridicate ale durității (minim 205 ± 20) și modulului lui Young (E_{IT} de minim 115±7 GPa), care sunt mai mari decât valorile obținute pentru MOV de ZnO comercial (175±5 HV, E_{IT} de 59±2 GPa) [31]. Valorile mari ale durității sugerează o rezistență adecvată la deformarea plastică.

Consolidarea și densificarea mai bună a pulberilor compozite pe bază de oxizi metalici și porozitatea inferioară a probelor de ME de MOV disc obținute prin SPS, comparativ cu probele obținute prin MP poate fi explicată prin mecanismul procesului SPS [25]. De asemenea, se observă faptul că densitatea și proprietățile mecanice ale probelor realizate prin SPS și recoapte (AMV3-AMV5 S-A) s-au îmbunătățit odată cu creșterea temperaturii de sinterizare. Deși rezultatele obținute pentru probele AMV3 S-A (SPS) și AMV4 S-A (SPS) au fost promițătoare, s-a ales metoda MP pentru realizarea și studiul MF de MOV disc, având în vedere eficiența procedeelelor MP de realizare loturi mari de MOV disc, comparativ cu procedeul SPS în care se poate realiza în general o probă de MOV disc într-o oră.

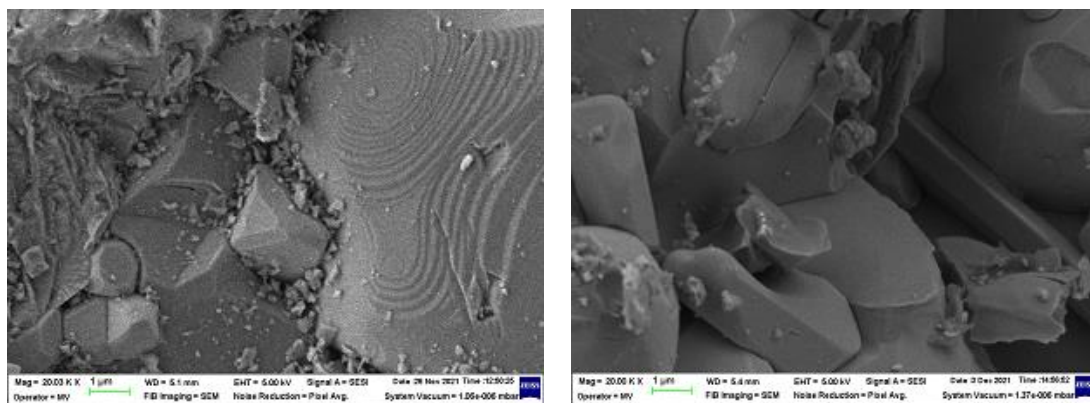


Fig 1.3. Rezultate analize SEM pentru ME de MOV disc de tip D4 S-A (MP) și D5 S-A (MP).

Toate probele sinterizate și recoapte au avut o microstructură densă și omogenă, cu densitatea relativă de circa 94-99 % din densitatea teoretică. Analiza EDX a confirmat prezența elementelor constitutive ale probelor elaborate [31].

Curbele de variație curent de conducție - tensiune de încercare alternativă (I-V) ale probelor de ME de MOV disc realizate au avut un comportamentul nelinier al caracteristicilor curent-tensiune [31].

Rezultatele obținute pentru ME de MOV disc elaborate în cadrul proiectului sunt în concordanță cu cele din literatura de specialitate [26-28].

CAPITOLUL 2.2. Realizare modele funcționale (MF) de varistoare pe bază de oxizi metalici (MOV) sub formă de disc pentru descărcătoare de supratensiuni și caracterizarea ME de varistoare din punct de vedere mecanic și funcțional (teste electrice în descărcătoare de supratensiuni)

2.2.1. Realizare MF de MOV disc

Pe baza rezultatelor obținute pentru ME de MOV disc, care au fost prezentate în capitolul anterior, au fost selectate MOV disc de tip D4 S-A (MP) și D5 S-A (MP) ca modele funcționale (MF) de MOV. Ambele MF au fost testate mecanic și dielectric, iar MF de MOV de tip D5 S-A (MP) acoperite în prealabil cu pastă de Ag pe suprafețele circulare și tratate termic a fost testat în descărcătoare de supratensiuni.

Mod de lucru

Amestecul de pulberi compozite de tip D5 s-a realizat într-un lot de 3 kg, iar MF de MOV disc de tip D5 S-A (MP) au fost realizate cu diametrul de 32 mm (la presare), respectiv de 28 mm (după recoacere) și înălțimea finală de circa 13 mm (65 bucăți), prin tehnici ale metalurgiei pulberilor (MP).

Rezultate obținute



Fig 2.1. Aspectul macrografic al pulberii D5 (lot de 3 kg) pentru realizare MF de MOV disc prin MP.

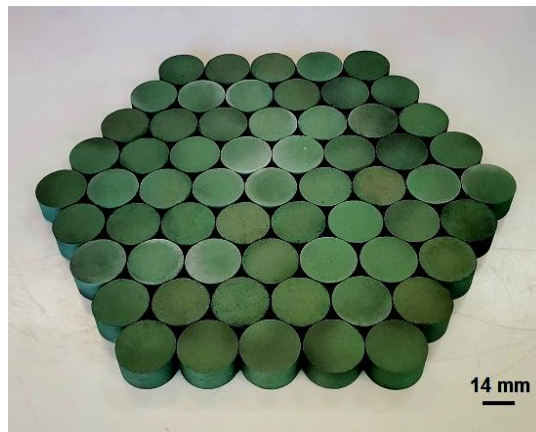


Fig 2.2. Aspectul macrografic al probelor de MF de MOV disc (D5 S-A) realizate prin MP.

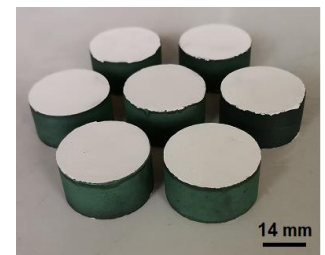


Fig 2.3. Aspectul macrografic al probelor de MF de MOV disc de tip D5 S-A (MP) acoperite cu pastă de Ag pe suprafețele circulare.

2.2.2. Caracterizarea MF de MOV disc

Mod de lucru

Proprietățile mecanice (duritatea indentată (H_{IT}), duritatea Vickers HV și modulul de elasticitate (E_{IT})) ale MF de MOV disc au fost determinate prin teste de nanoindentare instrumentată.

Testele dielectrice s-au realizat cu un analizor de impedanță în intervalul de frecvențe: 1-10 MHz pentru probele de tip D4 S-A (MP) și D5 S-A (MP), comparativ cu o probă de MOV disc de ZnO comercial.

Testele funcționale au constat în teste electrice în condiții reale de funcționare a MF de MOV disc de tip D5 S-A (MP), montate câte 16 buc./descărcător în 3 descărcătoare de supratensiuni. Testele electrice au fost realizate conform standardelor SR EN 60099-4 [8] și PE 116/94 [9].

Rezultate obținute

Rezultatele testelor mecanice de nanoindentare instrumentată ale MF de MOV disc analizate se află într-un interval strâns cu cel al rezultatelor obținute pentru ME de MOV disc D4 S-A (MP) și D5 S-A (MP), fapt ce confirmă reproductibilitatea caracteristicilor tehnice ale probelor de MOV disc realizate atât din loturi de 0,5 kg, cât și din loturi de 3 kg de pulberi compozite [31].

Toate probele de MOV disc au avut pierderi dielectrice mici ($\text{tg}\delta \leq 0.3$ la 1 kHz și $\text{tg}\delta \leq 0.17$ la 10 kHz), iar probele de MOV disc realizate în cadrul proiectului au prezentat proprietăți dielectrice comparative cu cele ale probei de MOV disc pe bază de ZnO comercial [31].

Din datele obținute din calculul conductivității și a rezistivității electrice se constată faptul că valorile conductivității electrice ale probelor de MOV disc D4 S-A (MP) și D5 S-A (MP) analizate este de maxim 0,058 S/m, iar rezistivitatea electrică se încadrează în intervalul $17.2 \div 3.26 \times 10^5 \Omega \cdot \text{m}$, deci materialele analizate se încadrează în clasa semiconductorilor [29].

Pe baza testelor funcționale ale MF de MOV disc de tip D5 S-A (MP) montate în descărcătoare de supratensiuni au fost determinați parametrii principali de funcționare pentru probele supuse testării: U_n : 25 kV, U_c : 12 kV și I_c : 1 mA, care sunt valori conforme descărcătoarelor de supratensiuni de medie tensiune (MVSA).

CAPITOLUL 2.3. Diseminarea rezultatelor proiectului pe scară largă și protecția cunoștințelor intelectuale

Diseminarea rezultatelor proiectului s-a realizat pe scară largă prin:

- participarea la 2 manifestări tehnico-științifice internaționale din domenii specifice proiectului și comunicarea a 2 articole științifice:

(L1) M.V. Lungu, D. Tălpeanu, C.D. Cîrstea, M. Marin, A. Caramitu, D. Pătroi, V. Marinescu, G. Sbarcea, P. Godeanu, SnO₂-Bi₂O₃-CuO-NiO based composites for varistor applications, 4th International Conference on Emerging Technologies in Materials Engineering - EmergeMAT, 4-5 Nov. 2021 - Bucharest, Romania, **comunicare poster** realizat de Dr. Ing. Magdalena Valentina Lungu, <https://imnr.ro/wp/wp-content/uploads/emergemat/E4-S2-17-Lungu.pdf>

(L2) M.V. Lungu, D. Tălpeanu, M. Marin, V. Marinescu, C.D. Cîrstea, D. Pătroi, G. Sbarcea, A. Barbu, Preliminary study on spark plasma sintered SnO₂-based composites as potential candidates for varistor applications, 6th International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'21), Nov. 26-28, 2021, Kozakli, Turkey, **comunicare orală** susținută de Dr. Ing. Dorinel Tălpeanu, http://www.imstec.org/yazim_formatlari/IMSTEC%202021%20PROGRAM.pdf

- publicarea L1 (Abstract), pag. 44 din Book of Abstracts, 4th International Conference on Emerging Technologies in Materials Engineering - EmergeMAT, 4-5 Nov. 2021 - Bucharest, Romania, Online ISSN 2602-0424, ISSN-L 2602-0416, Print ISSN 2602-0416, ISSN-L 2602-0416, <https://imnr.ro/wp/wp-content/uploads/Book-of-Abstracts-final-2021.pdf>

- publicarea L2 (Lucrare în extenso), 6 pagini în Proceedings of 6th International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'21), Nov. 26-28, 2021, Kozakli, Turkey, http://www.imstec.org/yazim_formatlari/PROCEEDINGS%20BOOK%20Taslak.pdf, transmisă spre publicare în Journal of Research on Engineering Structures and Materials (RESM), p-ISSN: 2148-9807; o-ISSN: 2149-4088, indexat BDI.

- actualizarea paginii web a proiectului

Protecția cunoștințelor intelectuale s-a realizat prin elaborarea unei cereri de brevet de invenție intitulată "Procedeu de obținere a unor varistoare pe bază de oxid de zinc sub formă de disc", autori: M.V. Lungu, C.D. Cîrstea, M. Marin, D. Tălpeanu, A. Caramitu, D. Pătroi, V. Marinescu, G.B. Sbarcea, C.A. Manea, P. Godeanu, A. Barbu, înregistrată la OSIM cu nr. A/00741 din 06.12.2021.

CAPITOLUL 2.4. Concluzii

În **Etapa 2/2021** a proiectului au fost realizate următoarele activități de **cercetare industrială**:

- Au fost preparate 8 ME de amestecuri de pulberi compozite pe bază de oxizi metalici de SnO₂+MeO și ZnO+MeO (loturi de câte 0,5 kg sau 3 kg), codificate AMV3-AMV5, D1-D5;
- Au fost realizate 20 ME de MOV disc, de diametru 20-32 mm și înălțime 3-13 mm (câte 3-10 buc/ME), din care 12 ME codificate AMV3-AMV5 S-A1-SA3 (SPS), D1-D3 S (SPS) au fost realizate prin SPS și 8 ME codificate AMV3-AMV5 S-A (MP), D1-D5 S-A (MP) au fost realizate prin MP;
- ME de varistoare disc au fost caracterizate din punct de vedere structural (analize XRD), fizico-chimic (densitate hidrostatică, analize SEM, EDX/XRF), optic (spectrometrie UV-Vis), mecanic (teste de indentare instrumentate) și electric (în condiții de laborator);
- Rezultatele analizelor și testelor efectuate au relevat potențialul MOV disc de tip D4 S-A (MP), D5 S-A (MP), AMV3 S-A (MP) și AMV4 S-A (MP) de a fi utilizate ca MF;
- Au fost realizate 2 MF de MOV disc de tip D4 S-A (MP) (10 buc) și D5 S-A (MP) (65 buc), cu d x h de 28 mm x 13 mm, care au fost caracterizate mecanic și funcțional prin teste dielectrice în condiții de laborator și prin teste electrice în descărcătoare de supratensiuni (D5 S-A);
- Au fost determinați parametrii principali de funcționare pentru probele de MF D5 S-A (MP) supuse testelor electrice specifice: U_n : 25 kV, U_c : 12 kV și I_c : 1 mA, care sunt valori conforme MVSA;
- Au fost realizate 2 comunicări, din o comunicare orală și o comunicare poster la 2 manifestări tehnico-științifice internaționale din domenii specifice proiectului;

- A fost publicat un abstract într-un Book of Abstracts și o lucrare în extenso într-un Proceedings de conferințe internaționale, lucrarea în extenso fiind transmisă spre publicare într-un jurnal indexat BDI;
- O cerere de brevet de invenție elaborată și înregistrată la OSIM cu nr. A/00741/06.12.2021;
- A fost actualizată pagina web a proiectului în limba română creată pe site-ul CO;
- A fost elaborat raportul de Etapă nr. 2/2021, în comun de către partenerii proiectului.

Concluzie finală: Având în vedere rezultatele obținute în Etapa 2/2021 de realizare a proiectului PED REMOVAR se consideră îndeplinite activitățile și obiectivele tehnico-științifice prevăzute în Planul de realizare a proiectului, fiind create condițiile pentru continuarea cercetărilor prevăzute în Etapa 3/2022.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. VWGA-589(32), Band Gap Program, Operation manual, Jasco, April 2003.
- [2]. P.T. Teo, S.K. Zakaria, N. Mohd Sharif, A.A. Seman, M. Ali, A. Taib, J.J. Mohamed, M. Yusoff, et. al, Application of general full factorial statistical experimental design's approach for the development of sustainable clay-based ceramics incorporated with malaysia's electric arc furnace steel slag waste, *Crystals*, 2021, 11(4), 442.
- [3]. D. Tâlpeanu, M.V. Lungu, A. Cojocaru, D. Pătroi, V. Marinescu, Study on porous hydroxyapatite based ceramic materials as bone substitutes for cranioplasty, *Romanian Journal of Materials*, Vol. 51, No. 2, p. 178-185, 2021.
- [4]. W.C. Oliver, G.M. Pharr, An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments, *J. Mater. Res.* 7(6), 1564-1583 (1992).
- [5]. A guide to Anton Paar indentation modes, Anton Paar GmbH, 2018, <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13980>
- [6]. S. Zinelis, Y.S. Al Jabbari, M. Gaintantzopoulou, G. Eliades, T. Eliades, Mechanical properties of orthodontic wires derived by instrumented indentation testing (IIT) according to ISO 14577, *Progress in orthodontics*, 16(1), 19 (2015).
- [7]. ISO 14577-4:2016, Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters - Part 4: Test method for metallic and non-metallic coatings.
- [8]. SR EN 60099-4:2015, Descărcătoare. Partea 4: Descărcătoare cu oxizi metalici fără eclatoare pentru rețele de curent alternativ.
- [9]. PE 116/94, Normativ de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice.
- [10]. M.S. Beldean-Galea, Controlul poluanților chimici ai mediului, Suport de curs, seminarii și lucrări de laborator.
- [11]. K. Prakash, P. Senthil Kumar, et. al. (2016) Controllable synthesis of SnO₂ photocatalyst with superior photocatalytic activity for the degradation of methylene blue dye solution, *Journal of Experimental Nanoscience*, 11:14, 1138-1155.
- [12]. M.V. Lungu, E. Vasile, M. Lucaci, D. Pătroi, N. Mihăilescu, et. al., Investigation of optical, structural, morphological and antimicrobial properties of carboxymethyl cellulose capped Ag-ZnO nanocomposites prepared by chemical and mechanical methods, *Materials Characterization*, Vol. 120, Oct. 2016, p. 69-81.
- [13]. M.V. Lungu ș.a., Raport științific și tehnic de etapă (RST) nr. 1/2020 (în extenso) la Ctr. 327 PED/2020.
- [14]. N.M. Shaalan, D. Hamad, A.Y. Abdel-Latief, M.A. Abdel-Rahim, Preparation of quantum size of tin oxide: Structural and physical characterization. *Progress in Natural Science: Materials International*, 26(2) (2016), p. 145-151.
- [15]. A. Gaber, A.Y. Abdel-Latief, et. al. Thermally induced structural changes and optical properties of tin dioxide nanoparticles synthesized by a conventional precipitation method, *Mater. Sci. Semicond. Processing*, 16(6) (2013), p. 1784-1790.
- [16]. K. Vijayashree, K. Sheshappa Rai, T. Demappa, Synthesis of nanosized copper oxide by assimilating microwave radiation and its characterizations, *Indian Journal of Advances in Chemical Science S1* (2016), p. 6-9.
- [17]. T. Thilagavathi, D. Venugopal, Structural and optical characterization of tungsten oxide nanoparticles by wet chemical technique, *International Journal of Scientific Research and Reviews*, 7(2) (2018), p. 680-688.
- [18]. A.A. Radhakrishnan, B.B. Beena, Structural and optical adsorption analysis of CuO nano particles, *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 2(2) (2014), p. 158-161.
- [19]. Fizica solidului, Note de curs, Lectia 12 - Teoria de bandă. Diagrama de benzi.
- [20]. S. Anuchai, S. Phanichphant, D. Tantraviwat, P. Pluengphon, T. Bovornratanaraks, B. Inceesungvorn, Low temperature preparation of oxygen-deficient tin dioxide nanocrystals and a role of oxygen vacancy in photocatalytic activity improvement, *Journal of Colloid and Interface Science*, 512 (2018), p. 105-114
- [21]. M. Karmaoui, A.B. Jorge, et. al., One-step synthesis, structure, and band gap properties of SnO₂ nanoparticles made by a low temperature nonaqueous sol-gel technique, *ACS Omega*, 3(10) (2018), p. 13227-13238.
- [22]. S.O. Kasap, P. Capper (2006), Springer handbook of electronic and photonic materials, Springer. p. 54, 327, ISBN 978-0-387-26059-4, <https://books.google.com/books?id=rVW22pnzhoC&pg=PA54>
- [23]. N. Kamarulzaman, M.F. Kasim, R. Rusdi, Band gap narrowing and widening of ZnO nanostructures and doped materials. *Nanoscale research letters*. 2015 Dec;10(1):1-2.
- [24]. Book: Introduction to Inorganic Chemistry, 10.5: Semiconductors-Band Gaps, Colors, Conductivity and Doping, <https://chem.libretexts.org/@go/page/183289?pdf>
- [25]. R. Orrù, R. Licheri, A. Locci, A. Cincotti, G. Cao, Consolidation/synthesis of materials by electric current activated/assisted sintering, *Mater. Science and Engineering: R: Reports*, Vol. 63, 2009, p. 127-287.
- [26]. P. Meng, C. Yuan, H. Xu, S. Wan, Q. Xie, J. He, H. Zhao, J. Hu, J. He, Improving the protective effect of surge arresters by optimizing the electrical property of ZnO varistors, *Electric Power Systems Research*, 178 (2020) 106041.
- [27]. P. Meng, C. Yuan, H. Xu, S. Wan, Q. Xie, J. He, H. Zhao, J. Hu, J. He, Improving the protective effect of surge arresters by optimizing the electrical property of ZnO varistors, *Electric Power Systems Research*, 178 (2020) 106041.
- [28]. P. Meng, S. Gu, J. Wang, J. Hu, J. He, Improving electrical properties of multiple dopant ZnO varistor by doping with indium and gallium, *Ceram. Int.*, 44(1) (2018), p. 1168-1171.
- [29]. Ch. Popescu, A. Ifrim, S.Cedighion, C. Lefter, M. Nicolae, D. Ichim, *Materiale electrotehnice, Proprietăți și utilizări*, Editura tehnică București, 1976.
- [30]. A. Desouky Osama, K E. Rady Improvement of sintering, nonlinear electrical, and dielectric properties of ZnO-based varistors doped with TiO₂, *Chinese Physics B*, 2016, 25(6): 068402.
- [31]. M.V. Lungu ș.a., Raport științific și tehnic de etapă (RST) nr. 2/2021 (în extenso) la Ctr. 327 PED/2020.