

Proiect PED 315/2020

Etapa 3

Elaborarea demonstratorului valva de spin pentru senzor de curent DC/AC de precizie. Testarea complexa magnetica & electrica a demonstratorului spintronic. Validarea in laborator a demonstratorului SV pentru senzor de curent DC/AC de precizie. Promovarea nanotehnologiilor la utilizatori potentiali la Conferinte.

In cadrul Etapei a 3 -a s-a realizat și validat în condiții de laborator cip-ul demonstrator dedicat detecției câmpului magnetic de valori scăzute produs de diverse surse, precum bobine sau curenți ce străbat un traseu conductor. Pornind de la necesitatea definirii unor structuri magnetorezistive adaptate detecției câmpului magnetic produs de curenți electrici în condițiile minimizării efectelor datorate variațiilor de temperatură s-au realizat doua tipuri de layout pentru cip-uri cu senzori magnetici ce vor fi utilizate pentru detecția curentului. Cipurile au fost analizate și pe cale micromagnetică și au fost evidențiate proprietățile caracteristice fiecărui model. Simulările au fost efectuate cu Llg Micromagnetics v4 Simulator. A fost stabilită orientarea câmpului de polarizare prin interacție de schimb pentru a putea asigura o funcționare optimă. S-au efectuat experimentari pentru nanotehnologia straturilor subtiri si realizarea structurilor de senzori. Depunerea in vid inalt a straturilor subtiri componente ale structurilor de senzori s-a realizat folosind Equipment UHV Magnetron Sputtering ATC2200 AJA INT (USA) cu moduri de lucru RF si DC SPUTTERING. S-au depus multistraturi metalice pe substrat de siliciu monocristalin de 3", prin metoda DC sputtering utilizând 3 tunuri-magnetron, in acelasi ciclu de vid. Multistraturile depuse de tipul: Ta (3nm)/Py (10nm)/FeMn (10nm)/Ta (3nm).

Senzorii s-au obținut cu Măștile 1& 2 descrise în cadrul Etapei 2. Se remarcă obținerea în parametri geometrici a structurilor, clar delimitate, cu elementele de aliniere vizibile, cu zonă pentru debitarea structurilor independente.

În vederea integrării traseului în formă de U pe suprafața senzorului s-a optat pentru printarea directă pe substrat flexibil de Kapton, cu o cerneală din argint de la Voltera, **Voltera Adorable Anchovy** de tipul **Flex 2 ink** [6] ce rămâne flexibilă după ce este tratată termic pentru eliminarea componentelor organice. Această cerneală este compatibilă, de asemenea, cu PET (Polietilen tereftalat), și cu alte substraturi polimerice flexibile și se păstrează la temperaturi cuprinse între 4-10 °C. Rezistivitatea este de aproximativ $1,36 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$ după tratament termic. Traseul in forma de "U" a fost realizat folosind imprimanta dedicată pentru realizarea de PCB-uri Voltera V-One [7]. Dimensiunile traseului în formă de U sunt cele din Fig. 8. Pentru proiectarea traseului a fost folosită suita de proiectare grafică PCB KiCad 5.1.10. S-a optat pentru printarea pe un substrat din bandă de Kapton cu lățimea de 6 mm și o grosime de 45 μm (măsurată cu un micrometru).

A fost dezvoltat un sistem cu sensibilitate foarte bună pentru măsurarea de curenți printr-o metodă fără contact ce este optimizată pentru detecția la câmpuri scăzute. Sistemul este proiectat să măsoare curenți între 2-300 mA. Pentru câmpuri de polarizare între 4-8 Oe cu o limită de detecție de 100 μA în DC și 100-300 μA în AC de la 10 Hz până 50 kHz. Un câmp de polarizare a fost aplicat folosind două bobine circulare într-o configurație cvasi-Helmholtz pentru liniarizarea răspunsului sistemului și pentru a permite diferite moduri de funcționare. Rezultatele au fost obținute fără ecranare electromagnetică iar consumul de energie al sistemului este relativ redus

(fiecare senzor consumă 3.2 mW), bobinele de polarizare consumă ~251.7 mW pentru un câmp de polarizare de 8 Oe, fiecare amplificator INA118 au un curent de standby de doar 350 μ A și amplificatorul EI1040 are de asemenea un consum energetic redus.

Au fost prezentate aspecte detaliate privind etapele de obținere și caracterizare ale cip-ului demonstrator. Câmpul magnetic creat de către banda de curent a fost estimat folosind un model analitic, rezultatul fiind validat din teste experimentale. Banda conductoare în formă de U a fost obținută printr-un proces de printare pe substrat flexibil de Kapton și apoi atașată pe suprafața senzorului. A fost realizat un dispozitiv complex de testare care a permis obținerea caracteristicilor de câmp și apoi a celor de detecție a curentului DC/AC. Din analiza caracteristicilor de detecție se poate estima o limită de detecție de aproximativ ± 2 mA. S-a observat o caracteristică de detecție aproape liniară în domeniul de frecvență 0-200 Hz.

Diseminarea activităților:

Conferințe:

1. A. Bezergheanu, C.B. Cizmaș, M. Volmer, M. Oproiu, C. Mușuroi, ”Magnetic and electric properties of printable perovskite type structures of $(La_{1-x}Pr_x)_{2/3}Ba_{1/3}MnO_3$ manganites”, prezentare Poster, IV.PO.1. la 12th International Conference on Materials Science and Engineering – BraMat 2022, Brașov, România, 9-12 Martie 2022, <https://www.bramat.ro/program.html>, https://www.bramat.ro/uploads/7/7/4/0/77408170/1_program_bramat2022.pdf pag. 12
2. Cristian Mușuroi, Marius Volmer, Elena Helerea, ”Electromagnetic Field Modelling of Conductive Traces for a High-Precision Non-contacting GMR Current Sensor”, prezentare orală la European Magnetic Sensors and Actuators Conference (EMSA) 5-8 Iulie 2022, Madrid, Spania, <https://www.emsa2022.com/index.php/programa/scientific-program>, abstract book <https://www.emsa2022.com/images/site/Abstracts-Book-EMSA-2022.pdf>, pag. 31.

Articol ISI trimis spre publicare:

1. Cristian Mușuroi, Marius Volmer, Elena Helerea, Electromagnetic Field Modelling of Conductive Traces for a High-Precision Non-contacting GMR Current Sensor, trimis la IEEE Transactions on Magnetics – Conferences, ID: MAGCON-22-06-0243

Obiectivele etapei a 3-a au fost realizate integral.

1. Cip-ul demonstrator

Elaborarea cipului demonstrator cu senzori spintronici pentru aplicații de măsurători non-contact a curenților DC/AC

Cipul demonstrator cu senzori spintronici folosește senzori Giant MagnetoResistance (GMR) cu multiple trasee de curent într-un sistem dublu diferențial implementat într-un circuit printat personalizat.

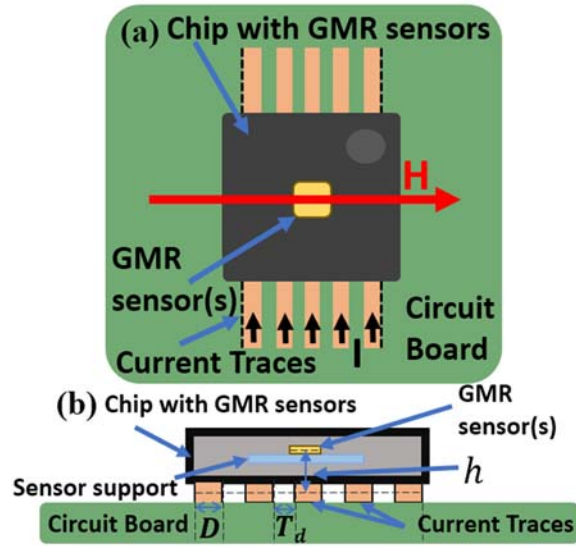


Fig. 1. Principiul de funcționare sistemului de detecție non-contact a curentului folosind trasee electrice și un cip bazat pe senzori GMR: (a): secțiune în plan multi-traseu; (b) secțiune transversală multi-traseu;

Pentru realizarea cipului-demonstrator de senzori spintronici, este necesară realizarea măștilor sensorilor. Realizarea măștilor se face prin scriere directă, înlăturând neajunsurile folosirii măștilor fizice - în principal - legate de timpul de execuție al măștii și de posibilitatea apariției unui interstițiu neuniform între mască și fotorezist.

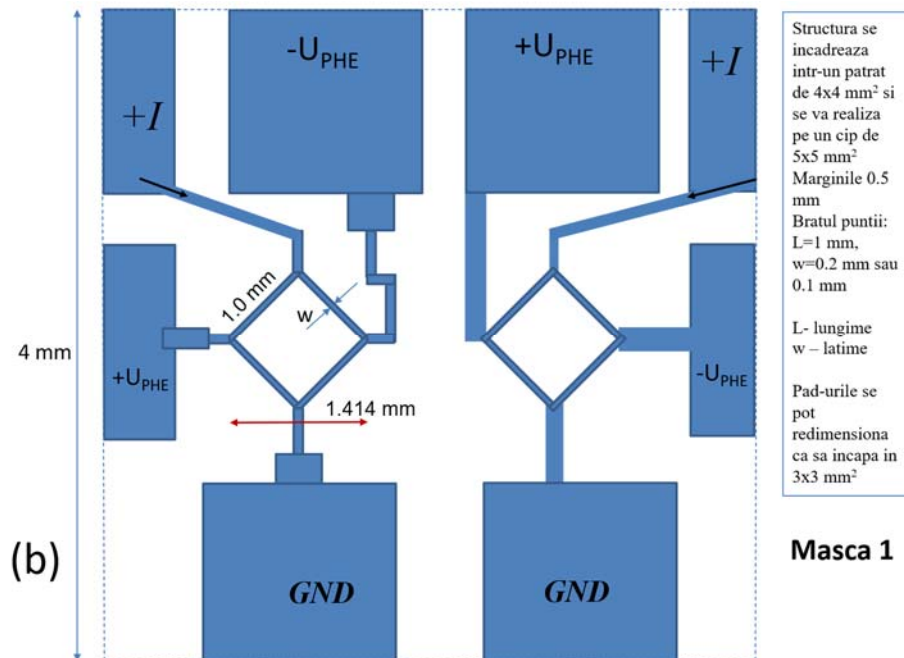


Fig 2 Layout al cipului cu 2 senzori spintronici si dimensiunile propuse, pe baza cărora s-a realizat masca de depunere, sunt prezentate în (b).

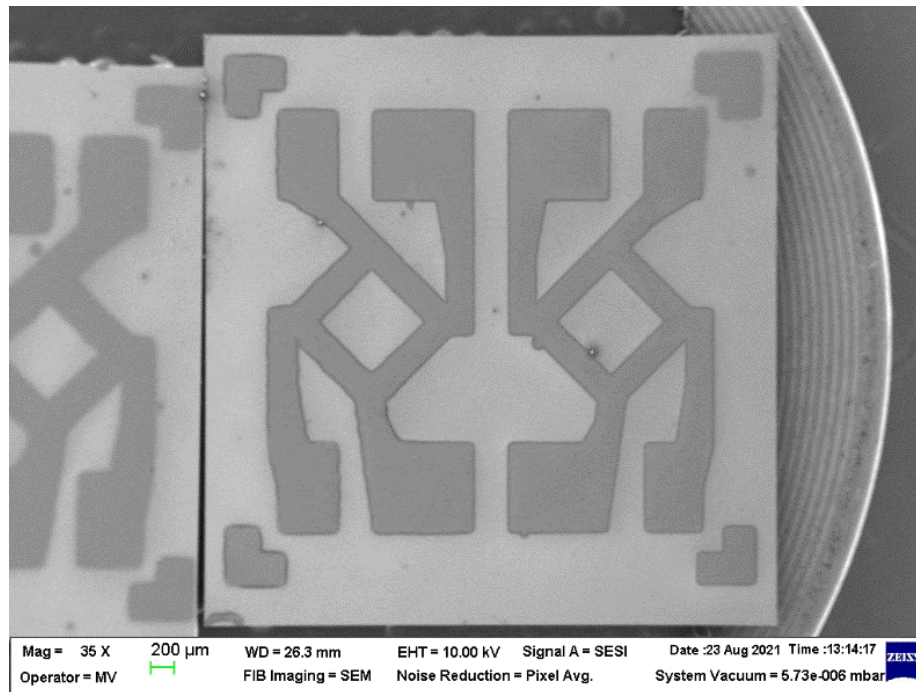


Fig 3 Senzorii obținuți cu Masca 1. Se remarcă obținerea în parametri geometrici a structurilor; clar delimitate, cu elementele de aliniere vizibile, cu zonă pentru debitarea structurilor independente. Mag 36X

2 Etapa de măsurători a cip-ului demonstrator.

Cip-ul contactat a fost plasat pe o placă PCB adaptoare, SO8, MSOP8, ce permite plasarea pe un soclu DIP PIN 8 cu pini auriti, Fig. 4(a). Peste cip a fost plasat traseul printat in forma de U, Schema de conectare și măsurare este prezentată în Fig. 4(b) sistemul de măsură fiind descris i RST etapa 3.

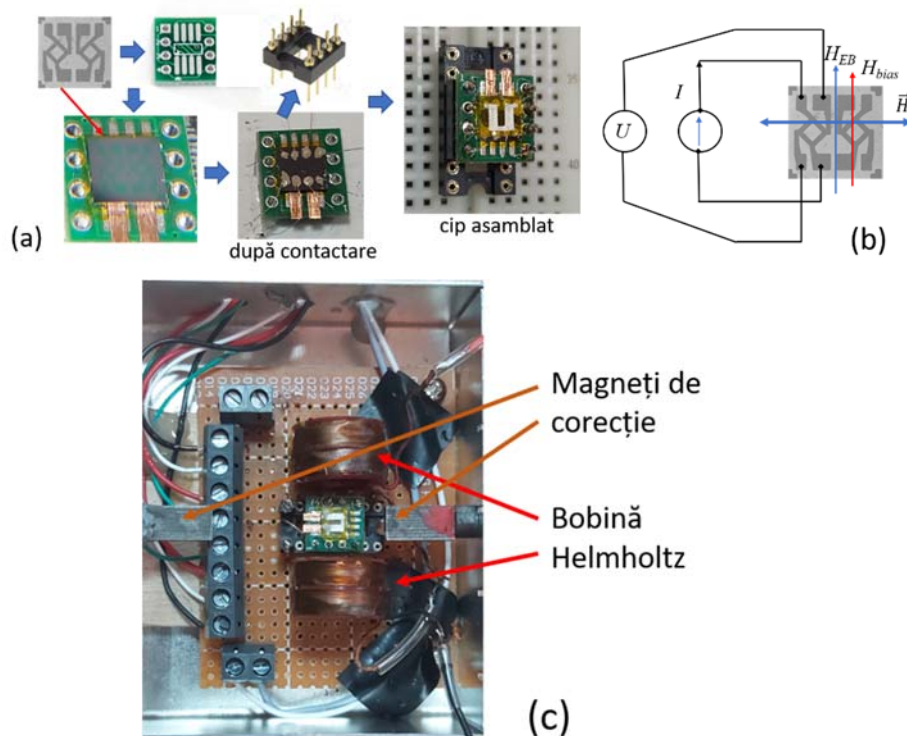


Fig. 4. (a) Etape de pregătire ale cip-ului demonstrator, (b) Schema de măsură cu direcțiile câmpurilor aplicate și (c) senzorul montat în cutia ecranată, pregătit pentru caracterizare și testare.

Răspunsul în AC la un curent de 20 mA cu formă de undă dreptunghiulară de 1 kHz este prezentat în Fig. 5(a). Teste multiple (la diverse câmpuri de polarizare și frecvențe) au determinat un timp de creștere și de descreștere de aproximativ 15 μ s.

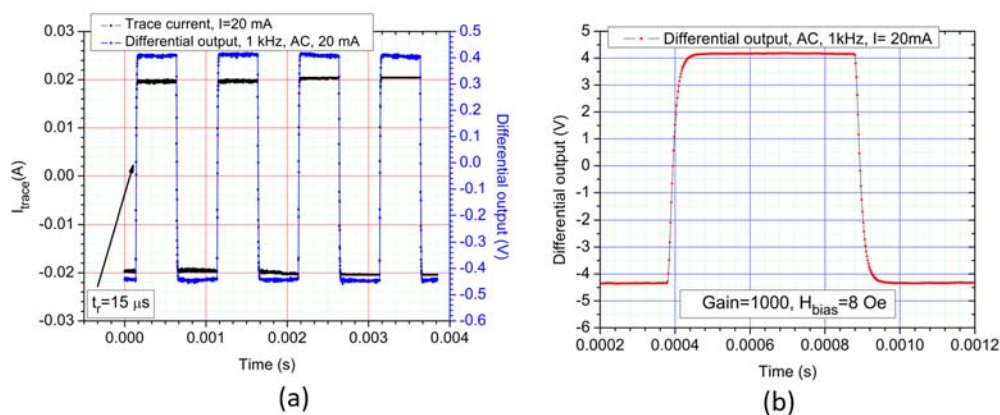


Fig.5. (a) Răspunsul în AC al sistemului cu senzori polarizați la 8 Oe pentru formă undă dreptunghiulară de 1 kHz la 20 mA: un timp de creștere și de descreștere a fost găsit în acest caz (măsurat între nivelele de 10-90%)(b).

În final, prezentăm în Fig. 6 formele de undă obținute pentru curent sinusoidal cu amplitudinea $I_{\text{peak}}=5, 25$ și 50 mA cu frecvența de 100 Hz.

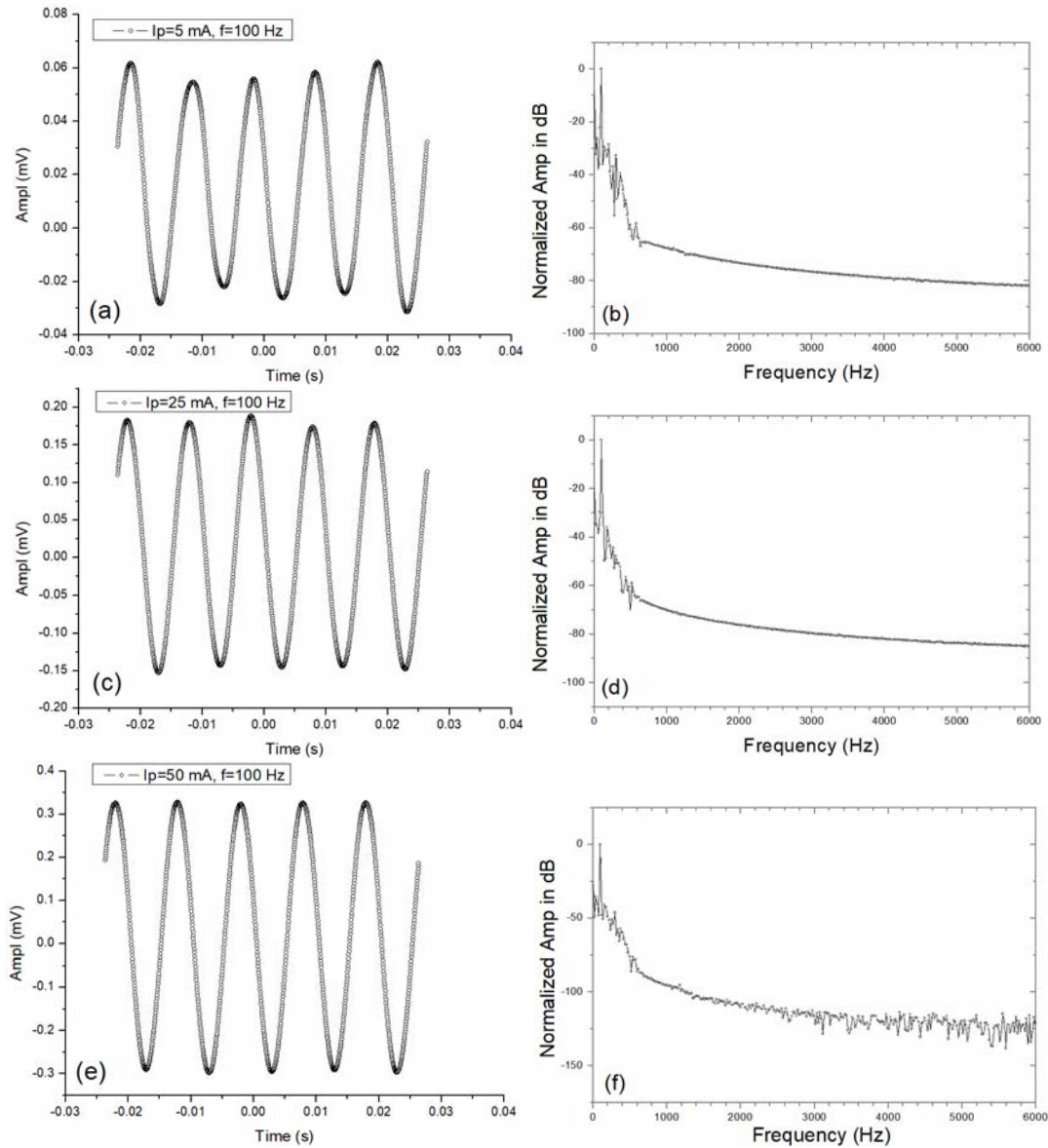


Figura 6. Formele de undă (caracteristica de timp) și transformatele Fourier pentru semnalul de ieșire când se injectează în traseul în formă de U un curent sinusoidal, $f=100$ Hz, cu amplitudinea de 5 mA (a,b), 25 mA (c,d), respectiv 50 mA (e,f).

Din teste s-a observat că, pentru $I_{\text{peak}} > 15$ mA forma de undă a semnalului de ieșire prezintă distorsiuni minime, urmărind fidel forma sinusoidală a curentului, lucru confirmat și de spectrul Fourier.