

Mariusz OZIMEK  
Wiesław WILCZYŃSKI

## ZASTOSOWANIE CIENKICH WARSTW Ni-Fe W EKRANOWANIU PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

**STRESZCZENIE** *W pracy przedstawiono wyniki badań tłumienia promieniowania elektromagnetycznego przez cienkie warstwy Ni-Fe naniesione na włókninę polipropylenową 160 (gramatura 160 gm<sup>-2</sup>). Magnetyczny target zamocowany na wyrzutni magnetronowej WMK-100 został rozpylony w atmosferze czystego argonu. Zbadano szybkość osadzania warstw w zależności od wybranych parametrów procesu rozpylania magnetronowego (moc wydzielona na tarczycie oraz ciśnienie gazu roboczego). Wykonano badania morfologii powierzchni i strukturalne za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) oraz dyfrakcji rentgenowskiej X-ray.*

*Tłumienie promieniowania elektromagnetycznego wyznaczono w oparciu o amerykańską normę MIL-STD 285. Zakres częstotliwości roboczej zawierał się w przedziale od 300 do 1000 MHz. Stwierdzono wpływ parametrów rozpylania na skuteczność ekranowania.*

**Słowa kluczowe:** rozpylanie magnetronowe, skuteczność ekranowania, cienkie warstwy Ni-Fe, pole elektromagnetyczne

---

**mgr inż. Mariusz OZIMEK<sup>1, 2)</sup>**  
e-mail: m.ozimek@iel.wroc.pl

**dr hab. Wiesław WILCZYŃSKI<sup>3)</sup>**  
e-mail: w.wilczynski@iel.waw.pl

<sup>1)</sup> Instytut Elektrotechniki, Oddział Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego we Wrocławiu, Zakład Materiałoznawstwa i Diagnostyki

<sup>2)</sup> Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Politechnika Wrocławska

<sup>3)</sup> Instytut Elektrotechniki w Warszawie

## 1. WSTĘP

---

Współczesny rozwój gospodarczy spowodował znaczny wzrost emisji promieniowania elektromagnetycznego. Źródłem szkodliwych fal są nie tylko stacje radiowe i telewizyjne, systemy radarowe, ale różne urządzenia techniczne, jak: kuchenki mikrofalowe, telewizory, grzejniki indukcyjne, telefony komórkowe itp. [18, 21]. Zwiększenie emisyjności spowodowało, iż coraz częściej konieczne jest odizolowywanie czułych urządzeń elektronicznych oraz organizmów żywych od szkodliwego działania sztucznie wytworzonego promieniowania.

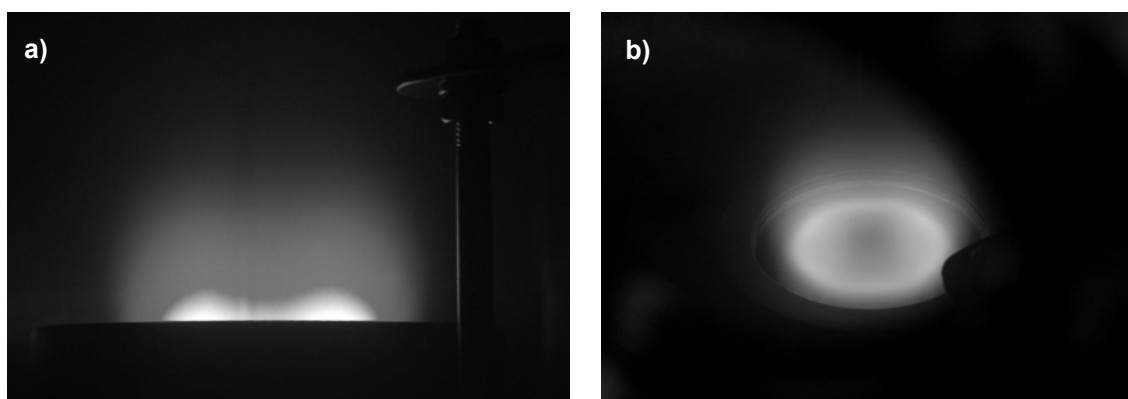
Ekran elektromagnetyczny jest przesłoną rozdzielającą dwa obszary: jeden ze źródłem pola elektromagnetycznego, drugi bez niego. Stosowanie metalowych przegród o określonej konduktywności  $\sigma$ , przenikalności magnetycznej  $\mu$  i elektrycznej  $\varepsilon$  zapewnia harmonijne współistnienie środowiska elektromagnetycznego ze znajdującymi się w jego obrębie systemami i urządzeniami [9, 10]. Typowe obudowy (żelazne, niklowe, miedziane, stalowe itp.) cechują się dobrymi właściwościami ekranującymi, jednak duża gęstość i korozyjność w znacznym stopniu ogranicza ich stosowanie. W ostatnich latach poszukuje się więc nowych ekranów kompozytowych charakteryzujących się małą masą i niską ceną, a zarazem unikalnymi właściwościami tłumiącymi pole elektromagnetyczne. Tekstylna pokryta metalową powłoką są jednym z tego typu produktów [3, 17]. Do najczęściej stosowanych metod metalizacji materiałów jest rozpylanie magnetronowe [6, 24].

## 2. OPIS METODY

---

Stosowanie próżniowych technologii osadzania cienkich warstw jest podstawą wielu dziedzin przemysłu i nauki. Warunki, jakie stwarza próżnia, umożliwiają wytworzenie unikalnego środowiska, pozwalającego na otrzymanie materiałów o właściwościach trudno osiągalnych za pomocą innych technologii. W prezentowanej pracy przedstawiono metodę impulsowego rozpylania magnetronowego. Magnetronem, działem lub wyrzutnią magnetronową nazywamy urządzenie wykorzystujące do swojego działania pole elektryczne i magnetyczne. Rozpylanie w tym układzie polega na wrywaniu atomów z powierzchni elektrody (targetu), bombardowanej wysoko energetycznymi cząstkami gazu roboczego. Proces ten zaliczany jest do metod plazmowych (rys. 1), w którym energia elektronów nie przekracza 1 keV, a energia jonów jest rzędu kilku-

nastu eV [11]. Intensywność rozpylania materiału oraz szerokość obszaru trawienia jego powierzchni zależą od mocy doprowadzonej do targetu, jego grubości oraz ciśnienia i składu gazu roboczego. Wybite atomy ulegają przemieszczeniu w komorze próżniowej, a następnie osadzają się na podłożu. W układach magnetronowych możliwe jest otrzymywanie zarówno warstw przewodzących [2, 16], magnetycznych [20, 23], jak i izolacyjnych. W przypadku ostatnich proces prowadzony jest w atmosferze gazu reaktywnego ( $O_2$ ,  $N_2$ ) [13, 19] lub w wyniku rozpylania materiału dielektrycznego [5, 7].



Rys. 1. Wyładowanie jarzeniowe w układzie magnetronowym:  
a) widok z boku, b) widok z góry

### 3. EKSPERYMENT

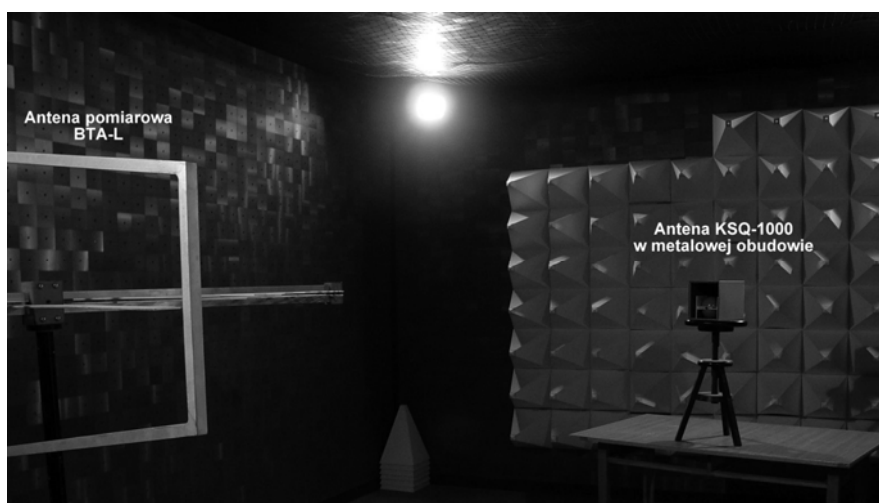
W procesie metalizacji użyto metalowego targetu Ni-Fe (83%, 16%) zamocowanego na wyrzutni magnetronowej WMK-100. Badania nad otrzymaniem cienkich filmów magnetycznych Ni-Fe o różnym udziale pierwiastków stopowych, ze względu na ich szerokie zastosowania, prowadzone są przez grupy naukowe na całym świecie [1, 4, 8]. W przedstawionej pracy warstwy naniesiono na włókninę polipropylenową o gramaturze  $160 \text{ gm}^{-2}$  oraz szkło kwarcowe. Podłoża, przed umieszczeniem w komorze próżniowej, umyto w roztworze wodnego propanolu i acetonu. Proces rozpylania prowadzono w temperaturze pokojowej, w atmosferze czystego argonu (5N). Zakres ciśnienia gazu zawierał się w przedziale od  $3 \cdot 10^{-3}$  do  $3 \cdot 10^{-1}$  Tr. Wstępnie komora próżniowa została odpompowana do ciśnienia  $3 \cdot 10^{-5}$  Tr za pomocą pompy turbomolekularnej. Jako zasilacza użyto impulsową jednostkę DPS (Dora Power System). System ten został przystosowany do zasilania urządzeń rozpylających prądem zmiennym średniej częstotliwości 80 kHz lub prądem

ujemnym 160 kHz. Przebiegi te dodatkowo są modulowane grupowo sygnałem o częstotliwości ok. 2 kHz. Moc wydzielaną na targecie zmieniano w zakresie od 200 W do 1200 W. Odległość między targetem a podłożem wynosiła 80 mm. Grubość otrzymanych warstw zawierała się przedziale od ok. 50 nm do ok. 330 nm.

W celu identyfikacji fazy krystalicznej otrzymanych warstw wykonano badania rentgenowskie X-ray. Pomiary przeprowadzono na dyfraktometrze DRON-2, wykorzystując do tego celu promieniowanie lampy kobaltowej Co z filtrem Fe. Badania prowadzono metodą rejestracji krokowej w zakresie kątów  $2\theta$  od  $10^\circ$  do  $80^\circ$ . Analizę składu chemicznego wykonano przy pomocy mikroskopu skaningowego SEM - Tescan Vega II z przystawką EDS Oxford.

Zmierzono rezystancję powierzchniową otrzymanych filmów zgodnie z normą PN-EN 1149- 1 [14]. Pomiary prowadzono w temperaturze pokojowej i wilgotności względnej  $RH = 50 \pm 5 \%$ .

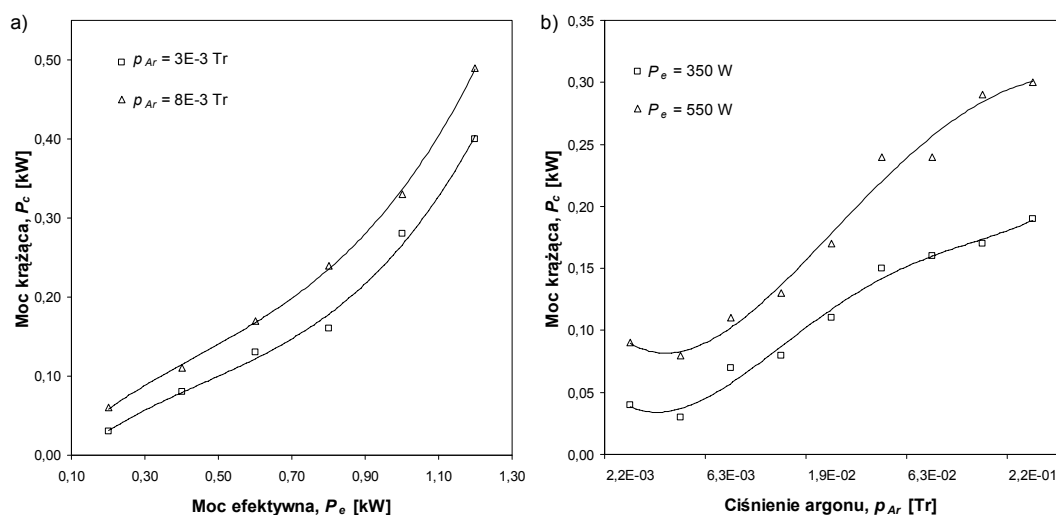
Pomiar skuteczności ekranowania wykonano w komorze bezodbiwojowej typu „fully – anechoic chamber” (rys. 2). Tłumienie fali elektromagnetycznej wyznaczono w oparciu o amerykańską normę MIL-STD 285 [12, 22]. W metodzie tej, w metalowej obudowie o wymiarach 170x190x265 mm umieszczono wzorcowe źródło promieniowania typu KSQ-1000 wysyłające sygnały dyskretne z częstotliwością co 10 MHz. W jednej ze ścian obudowy znajdował się otwór na analizowany materiał. Metalowe pudełko wraz ze źródłem umieszczono w odległości 3 m od anteny pomiarowej typu BTA-L. Zakres częstotliwości roboczej zawierał się przedziale od 300 do 1000 MHz. Przy pomocy analizatora widma wykonano pomiar sygnału ze źródła wzorcowego. Wynik ten stanowił odniesienie dla wszystkich wykonywanych prób. Pomiar następny odbywał się przy zamkniętym za pomocą badanej próbki otworze. Wielkość różnicy amplitudy obu sygnałów stanowił tłumienie badanego materiału.



Rys. 2. Metoda pomiaru tłumienia fali elektromagnetycznej

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

Określając moc doprowadzaną z zasilacza do magnetronu posługujemy się dwiema wielkościami elektrycznymi: mocą efektywną  $P_e$  i mocą krążącą  $P_c$  [15]. Pierwsza jest wydzielana bezpośrednio na materiale rozpylanym, a jej zmiany wpływają na efektywność nakładania warstw. Druga określa stan niedopasowania obwodu wyjściowego zasilacza do obciążenia wynikającego z warunków technologicznych pracy magnetronu. Może ona świadczyć o stanie trawienia powierzchni tarczy wyrzutni. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe zależności uzyskane w trakcie rozpylania omawianego materiału.

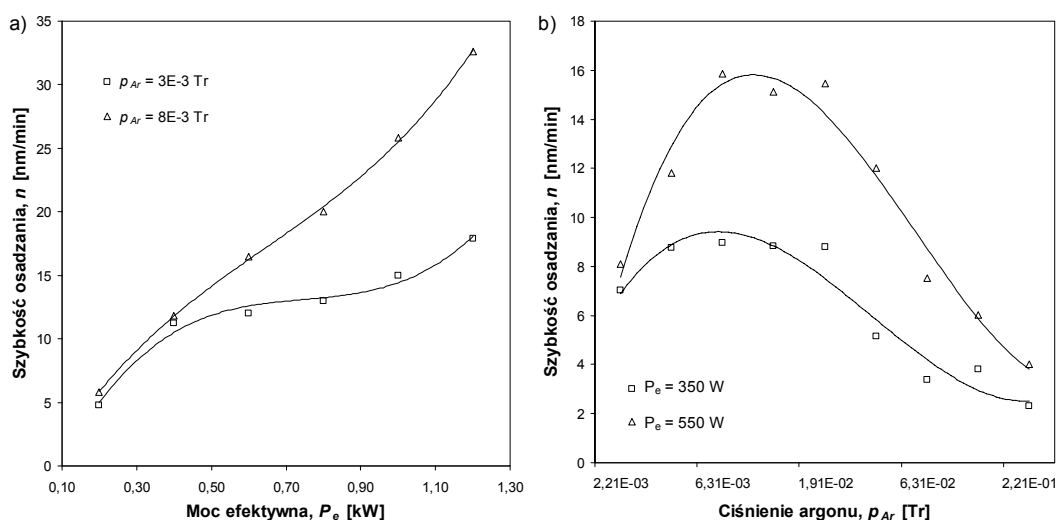


**Rys. 3. Zależność mocy krążącej  $P_c$  w funkcji:**

a) mocy doprowadzonej do magnetronu  $P_e$  przy dwóch wartości ciśnienia argonu  $p_{Ar}$ , b) ciśnienia gazu roboczego  $p_{Ar}$  dla dwóch wartości mocy efektywnej  $P_e$

Rysunek 4 przedstawia zależność szybkości osadzania warstw Ni-Fe od mocy efektywnej przy różnych ciśnieniach argonu (a) oraz w funkcji ciśnienia gazu dla różnych wartości mocy (b). W przypadku pierwszym zauważyć można, iż szybkość nakładania jest wprost proporcjonalna do zastosowanej mocy. Zależność ta nie jest zachowana przy stałej mocy i zmiennym ciśnieniu. Z rysunku 4 wynika, iż zwiększanie ciśnienia argonu, a tym samym koncentracji jonów biorących udział w rozpylaniu powoduje zwiększenie, a następnie zmniejszanie szybkości nakładania warstw. Maksimum szybkości uzyskano dla ciśnienia  $p_{Ar} = 8.0 \cdot 10^{-3}$  Tr. Dla ciśnień wyższych od  $2.0 \cdot 10^{-2}$  Tr szybkość roz-

pylania uległa gwałtownemu obniżeniu. Efekt zmniejszenia szybkości rozpylania przy wyższych ciśnieniach może być spowodowany zbyt dużą ilością jonów argonu, powodującą rozpraszanie atomów materiału rozpylanego lub wtórnym rozpylaniem osadzonego już materiału na podłożu. Dla ciśnień argonu  $p_{Ar}$  mniejszych od  $3.0 \cdot 10^{-3}$  Tr z powodu zbyt małej ilości gazu roboczego proces rozpylania nie zachodził.

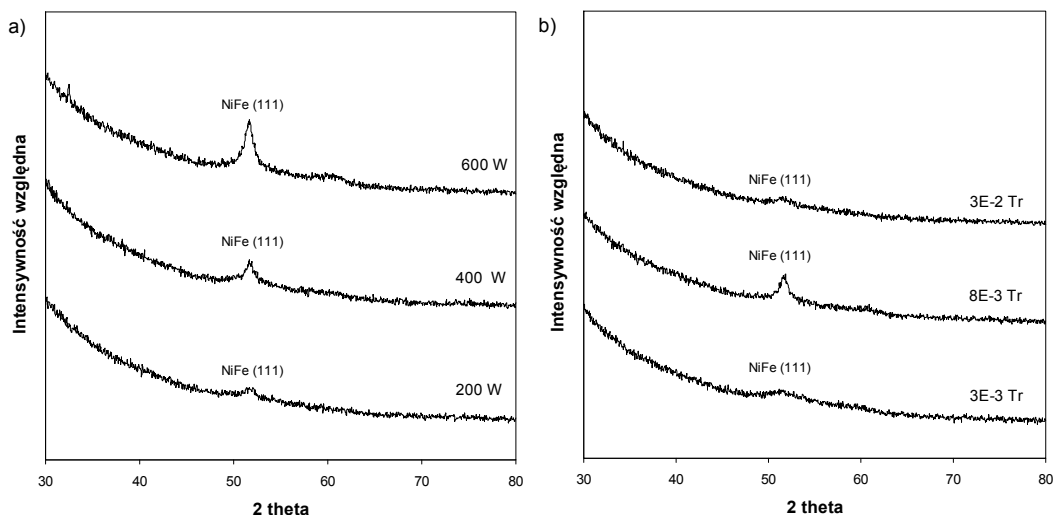


**Rys. 4. Szybkość osadzania warstw Ni-Fe w funkcji:**

a) mocy efektywnej dla dwóch wartości ciśnienia gazu roboczego, b) ciśnienia argonu dla dwóch wartości mocy efektywnej

Skład fazy krystalicznej otrzymanych filmów wyznaczano z dyfraktogramów, porównując odległości międzypłaszczyznowe i intensywności mierzonych refleksów z danymi tablicowymi bazy PDF (Powder Diffraction Files) ICDD. Dokładność analizy zależy tu od zgodności analizowanych danych z danymi katalogowymi. Poza błędami wnoszonymi przez pomiar i geometrię preparatu istotne różnice, głównie intensywności, powodują różnice budowy oraz składu chemicznego fazy krystalicznej badanej próbki i wzorca z tablic. Intensywność linii jest proporcjonalna do ilości fazy krystalicznej. Na rysunku 5 przedstawiono widma rentgenowskie (XRD) dla cienkich warstw naniesionych na podłożu kwarcowe. Stosowano różną moc efektywną oraz różne ciśnienie argonu w procesie rozpylania. Powłoki wykazują nanokrystaliczną strukturę o wielkościach krystalitów poniżej 10 nm. We wszystkich próbkach dyfraktogramy wskazują na występowanie pojedynczej linii fazy krystalicznej (111) naniesionego materiału. Różny stopień krystaliczności otrzymanych filmów w zależności od parametrów rozpylania związany jest najprawdopodobniej z różnym podgrzewaniem podłoża przez wysokoenergetyczne jony gazu i atomy materiału rozpylanego. Wraz

ze zmianami mocy i ciśnienia zmienia się energia padających cząstek. Krystaliczność otrzymanych warstw amorficznych można zwiększyć, stosując dodatkowe nagrzewanie podłoża w trakcie procesu nakładania. Zmieniając temperaturę podłoża i energię padających cząstek, możliwe jest regulowanie składu chemicznego i odmiany krystalograficznej warstw.



Rys. 5. Dyfraktogramy otrzymanych warstw Ni-Fe

Wyniki pomiaru rezystancji powierzchniowej powstałych ekranów elektromagnetycznych wykazały duży wpływ głównie ciśnienia argonu na uzyskane wyniki (tab. 1). Wyznaczona rezystywność powierzchniowa zawiera się w przedziale od kilkudziesięciu  $\Omega$  do wartości powyżej 1 G $\Omega$ . Duża rozpiętość otrzymanych wyników związana jest ze zmianami grubości, struktury oraz stanu powierzchni otrzymanych powłok.

TABELA 1

Rezystywność powierzchniowa otrzymanych warstw w funkcji ciśnienia

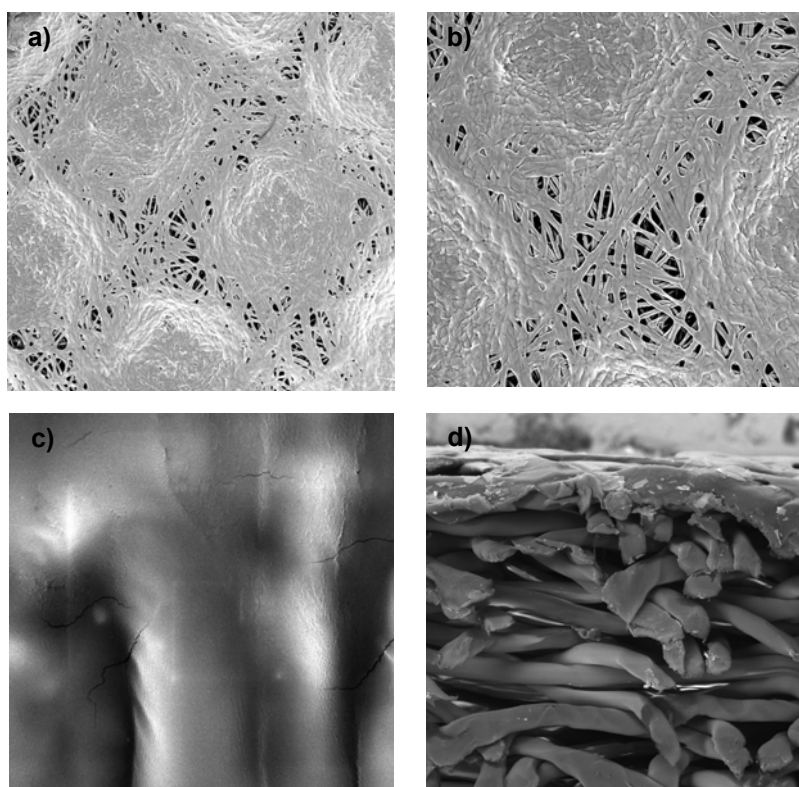
Ciśnienie [Tr]	3E-3	8E-3	3E-2	8E-2	3E-1
Rezystywność [ $\Omega$ ]	79,20	158,40	$19,80 \cdot 10^3$	$495,00 \cdot 10^3$	$>10^9$

TABELA 2

Rezystywność powierzchniowa otrzymanych warstw w funkcji mocy

Moc [W]	200	400	600	800	1000
Rezystywność [ $\Omega$ ]	297,00	148,01	119,79	89,10	59,40

W celu określenia struktury powierzchni metalicznych filmów badano powierzchnię i przekrój poprzeczny próbek (rys. 6). Uzyskane wyniki wskazują na nierównomierność uzyskanych powłok, co związane jest z wnikaniem metalu między włókna podłoża. Warstwy cechuje mała ilość pęknięć i rozwarstwień, a ich przyczepność do podłoża jest bardzo dobra. Uśredniony skład chemiczny powłok (Ni/Fe) zawierał się w przedziale od 83/16 do 87/12 procentów atomowych. W dużym stopniu jest on zgodny ze stechiometrią targetu.



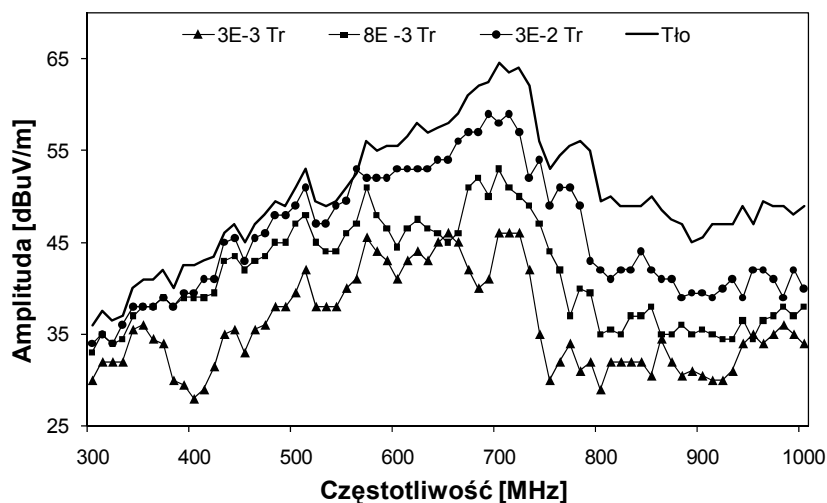
**Rys. 6. Cienka warstwa Ni-Fe:**

a) powiększenie 60x, b) powiększenie 100x, c) powiększenie 5000x,  
d) przekrój poprzeczny

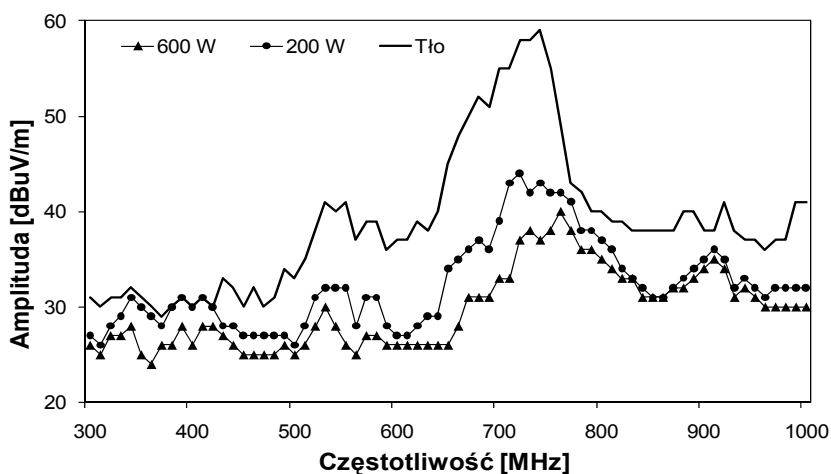
Zależność tłumienia fali elektromagnetycznej w funkcji częstotliwości przedstawiono na rysunkach 7 i 8. Pomiary przeprowadzono dla cienkich warstw Ni-Fe otrzymanych w funkcji ciśnienia gazu roboczego (rys. 7) oraz mocy doprowadzonej do materiału rozpylanego (rys. 8). Uzyskane krzywe ilustrują poziom sygnału dochodzącego do anteny pomiarowej ze źródła wzorcowego. Mniejsze wartości świadczą o większym stopniu tłumienia fali elektromagnetycznej. Zarówno w przypadku zmian mocy, jak i ciśnienia, otrzymano różne wyniki skuteczności ekranowania. Dodatkowo zaobserwowano powstawanie degradacji włókniny przy stosowaniu mocy efektywnej  $P_e$  większej od 1000 W. Zwią-



zane jest to bezpośrednio z wydzielaniem się zbyt dużej temperatury w trakcie trwania procesu, przekraczającej zakres wytrzymałości termicznej materiału podłoża.



Rys. 6. Tłumienie fali elektromagnetycznej przez cienkie warstwy Ni-Fe w funkcji ciśnienia roboczego



Rys. 7. Tłumienie fali elektromagnetycznej przez cienkie warstwy Ni-Fe w funkcji mocy

## 4. PODSUMOWANIE

Rozpylanie magnetrone jest jedną z najpowszechniej stosowanych metod metalizacji materiałów. W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki

badania wykorzystania tej metody do otrzymania kompozytowych ekranów tłumiących pole elektromagnetyczne. Otrzymano cienkie warstwy Ni-Fe na włókninie polipropylenowej. Zbadano wpływ podstawowych parametrów, jak: ciśnienie gazu roboczego i moc doprowadzoną do wyrzutni magnetronowej na szybkość osadzanego materiału, strukturę krystalograficzną, rezystancję i skuteczność ekranowania. Stwierdzono istnienie optymalnych warunków, przy których uzyskane ekrany elektromagnetyczne cechują najlepsze właściwości ekranujące. Otrzymane powłoki charakteryzowały się bardzo dobrą adhezją do podłoża, trudno osiągalną innymi metodami.

## LITERATURA

1. Chen X., Qiu H., Qian H., Wu P., Wang F., Pan L., Tian Y.: Characteristics of  $Ni_xFe_{100-x}$  Films deposited on  $SiO_2/Si(100)$  by DC magnetron co-sputtering. *Vacuum*, 75, 217-223, 2004.
2. Ellmer K., Cebulla R., Wendt R.: Characterization of a magnetron sputtering discharge with simultaneous RF- and DC-exciting of the plasma for the deposition of transparent and conductive ZNO: Al-films. *Elsevier, Surface and Coatings*, 98, 1251-1256, 1998.
3. Foitzik R. C., Kaynaka A., Pfeffer F. M.: Conductive poly ( $\alpha$ ,  $\omega$ -bis(3-pyrrolyl)alkanes)-coated wool fabrics. *Synthetic Metals* 157, 534-539, 2007.
4. Gerber A. I., McCord J., Schmutz C., Quandt E.: Permeability and magnetic properties of ferromagnetic NiFe/FeCoBSi bilayers for high-frequency applications. *IEEE, Transactions On Magnetics*, Vol. 43, 6, 2624-2626, 2007.
5. Iosad N. N., Jackson B. D., Polyakov S. N., Dmitriev P. N., Klapwijk T. M.: Reactive magnetron sputter-deposition NbN and (Nb, Ti)N films related to sputtering source characterization and optimization. *Journal of Vacuum Science and Technology A*, Vol. 19, 4, 1840-1845, 2001.
6. Kelly P. J., Arnell R. D.: Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications. *Vacuum*, 56, 159-172, 2000.
7. Kim S. H., Lee J. H., Hwangbo C. K., Lee S. M.: DC reactive magnetron sputtering with Ar ion-beam assistance for titanium oxide film. *Elsevier, Surface and Coating Technology*, 158-159, 457-464, 2002.
8. Li X., Yang Z.: Effects of sputtering conditions on the structure and magnetic properties of Ni-Fe films, *Elsevier Materials Science and Engineering, B* 106, 41-45, 2003.
9. Lundgren U., Ekman J., Delsing J.: Shielding Effectiveness Data on Commercial Thermoplastic Materials. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 48, 4, 766-773, 2006.
10. Lutsev L. V., Kazantseva N. E., Tchmutin I. A., Ryvkina N. G., Kalinin Yu E., Sitnikoff A. V.: Dielectric and magnetic losses of microwave electromagnetic radiation in granular structures with ferromagnetic nanoparticles. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 15, 3665-3681, 2003.
11. Miernik K.: Działanie i budowa magnetronowych urządzeń rozpylających, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 1997.

12. MIL-STD 285, Military Standard. Attenuation Measurements for Enclosures, Electromagnetic Shielding, for Electronic Test Purposes, Method of, Government Printing Office, Washington 1956.
13. Musila J., Barocha P., Vlceka J., Namc K. H., Hanc J. G.: Reactive magnetron sputtering of thin films: present status and trends. *Thin Solid Films* 475, 208-218, 2005.
14. PN-EN 1149-1 Odzież Ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Część 1: Metody badania rezystywności powierzchniowej. Czerwiec 2006.
15. Posadowski W. M., Wiatrowski A., Dora J., Radzimski Z. J.: Magnetron sputtering process control by medium-frequency power supply parameter. *Thin Solid Films* 516, 4478-4482. 2008.
16. Radziński Z., Poradowski W. M., Shingubara A.: Directional copper deposition using dc magnetron self-sputtering. *Journal. Vac. Sci. Technol., B*, Vol. 16, 1102-1106, 1998.
17. Sarto M. S., Li Voti R., Sarti F., Larciprete M. C.: Nanolayered Lighthweight Flexible Shields with Multidirectional Optical Transparency. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 47, 3, 602-611, 2005.
18. Sokalski L.: Pola elektromagnetyczne i ich niejonizujące oddziaływanie na organizmy żywe. *Przegląd Elektrotechniczny*, 4, 100-103, 1999.
19. Sproul W. D., Christie D. J., Carter D. C.: Control of reactive sputtering processes. *Thin Solid Films*, 491, 1-17, 2005.
20. Sun H., Hu J., Su Z. F., Xu J. L., Feng S. Z.: Microstructure and magnetic properties of Ti/CoCrPt/Ti pseudo-sandwich nanogranular film. *IEEE, Transactions on Magnetics*, Vol 42, 7, 1782-1784, 2006.
21. Wac-Włodarczyk A., Mazurek P. A.: Analiza zaburzeń elektromagnetycznych emitowanych w lokalnej sieci przez komputery PC. *Przegląd Elektrotechniczny*, 12, 890-893, 2003.
22. Więckowski T., Janukiewicz J.: Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles. *FIBERS & TEXTILES in EASTERN EUROPE*, vol. 14, 5, 18-22, 2006.
23. Yu X., Shen Z.: The electromagnetic shielding of Ni films deposited on cenosphere particles by magnetron sputtering method. *Jurnal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321, 2890-2895, 2009.
24. Xiang Y., Chengbiao W., Yang L., Deyang Y., Tingyan X.: Recent Developments in Magnetron Sputtering. *Plasma Science & Technology*, vol. 1.8, 3, 337-343, 2006.

*Rękopis dostarczono dnia 15.09.2009 r.*

**Opiniowała: prof. dr hab. inż. Henryka Stryczewska**

## APPLICATION OF Ni-Fe THIN FILMS FOR SHIELDINGS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

M. OZIMEK, W. WILCZYŃSKI

### ABSTRACT

*In this study the results of measurement of electromagnetic wave attenuation by Ni-Fe thin films deposited on polypropylene nonwoves 160 (basis weight 160 g·m<sup>-2</sup>) were presented. Magnetic target fitted on magnetron gun of the WMK-100 type was*

sputtered in pure argon atmosphere. The rates of the materials depositions were presented in regards to most important physical quantities relevant to pulse magnetron processing (power dissipated into target, flow rates of gas background). The surface morphology and microstructure were analyzed using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction.

Measurements of screening attenuation were made according to the MIL-STD 285 American standard. The measurements were carried out in frequency band of 300 MHz - 1000 MHz. The influence of chosen parameters on shielding effectiveness was noticeable.



**Mgr inż. Mariusz OZIMEK** – absolwent Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. Obecnie doktorant Wydziału Elektrycznego oraz pracownik Instytutu Elektrotechniki we Wrocławiu. Za swoją pracę magisterską – „Materiały magnetyczne absorbujące promieniowanie elektromagnetyczne wysokiej częstotliwości” – otrzymał drugą nagrodę w konkursie im. prof. Skowrońskiego na najlepszą pracę dyplomową. W pracy doktorskiej zajmuje się wykorzystaniem technik próżniowych do wytwarzania materiałów barierowych dla promieniowania elektromagnetycznego.

**Doc. dr hab. Wiesław WILCZYŃSKI** jest pracownikiem naukowym w Instytucie Elektrotechniki. Od początku do chwili obecnej zajmuje się materiałami magnetycznie miękkimi (blachami, taśmami Amor-ficznymi i nanokrystalicznymi, ferrytami), ich badaniami, sposobami wytwarzania oraz wpływem technologii wytwarzania rdzeni magnetycznych na ich właściwości magnetyczne. Jest autorem około stu prac z zakresu materiałów magnetycznych i zastosowania pól magnetycznych oraz trzech patentów. Brał czynny udział w wielu konferencjach zagranicznych i krajowych. Obecnie jest Dyrektorem Instytutu Elektrotechniki w Warszawie.

