



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - MATERIALS SCIENCE COMMITTEE
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference
Proceedings

11th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Tłumienie pól elektromagnetycznych przez ekrany warstwowe hybrydowe ze szkła metalicznych na osnowie żelaza i kobaltu

R. Nowosielski, S. Griner

Zakład Materiałów Nanokrystalicznych i Funkcjonalnych oraz Zrównoważonych Technologii Proekologicznych,
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Poland

W pracy zbadano własności magnetyczne szkła metalicznych na osnowie żelaza oraz kobaltu. Z taśm amorficznych o szerokości 10 mm wykonano płaskie ekrany tkane o splocie prostym. Dla uzyskanych ekranów określono zdolność do tłumienia niejonizujących pól elektromagnetycznych o częstotliwości do 1000 MHz dla składowej elektrycznej oraz do 1 MHz dla składowej magnetycznej. W celu zwiększenia skuteczności ekranowania dodawano kolejne warstwy tłumiące uzyskując ekrany składane hybrydowe. Dla takich kombinacji warstw określono współczynnik tłumienia b_s dla składowej elektrycznej i składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego.

1. WPROWADZENIE

Zagrożenie zdrowia człowieka przez sztuczne pola elektromagnetyczne (w tym również niejonizujące) jest przedmiotem badań zarówno nauk medycznych jak również zainteresowania ze strony nauk fizycznych. Także rosnące wymagania związane ze środowiskiem pracy a także warunki działania coraz bardziej skomplikowanych urządzeń elektronicznych wywołują rosnące zainteresowanie skutkami oddziaływania pól elektromagnetycznych na różne obiekty jak również skutecznymi i ekonomicznymi metodami zabezpieczania przed wpływem pól elektromagnetycznych [1-6]. Szkła metaliczne ze względu na ich niekonwencjonalny sposób wytwarzania i postać płaskiego produktu metalowego o małej grubości oraz niekonwencjonalne własności mechaniczne oraz magnetyczne wynikające ze struktury amorficznej znalazły szereg aplikacji. Stały się również przedmiotem zainteresowania producentów ekranów pól elektromagnetycznych o częstotliwościach radiowych. Stąd zainteresowania autorów niniejszej pracy wykorzystaniem metalowych materiałów amorficznych na ekrany niejonizujących pól elektromagnetycznych, szczególnie w zakresie ich wykorzystania na szerokopasmowe ekrany warstwowe o wysokiej skuteczności ekranowania w dużym zakresie częstotliwości.

2. PRZEBIEG BADAŃ

Stopy amorficzne dla których przeprowadzono badania posiadają następujące składy chemiczne (w % atomowych): $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$, $\text{Co}_{60}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_5\text{Si}_{11}\text{B}_{14}$, $\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{13,5}\text{B}_{13}$, $\text{Co}_{69}\text{Mo}_2\text{Fe}_4\text{Si}_{14}\text{B}_{11}$, $\text{Co}_{70,5}\text{Fe}_{2,5}\text{Mn}_2\text{Mo}_1\text{Si}_9\text{B}_{15}$. Badane taśmy o strukturze amorficznej zostały wytworzone metodą odlewania strugi ciekłego stopu na powierzchnię wirującego walca. Taśmy posiadały szerokość ok. 10 mm i grubości 0,02-0,045 mm. Próbki taśm poddano badaniom własności magnetycznych a następnie określono własności tłumiące ekranów pól elektromagnetycznych wykonanych z badanych taśm. Ekran wykonano na specjalnym krośnie, uzyskując z odlanych taśm tkaniny o splocie prostym o wymiarach 500 x 500 mm. Grubość tkanin odpowiadała podwójnej grubości taśm. Badania przeprowadzono dla ekranów pojedynczych oraz warstwowych hybrydowych uzyskanych przez składanie poszczególnych pojedynczych ekranów.

Badania własności magnetycznych wykonano metodą pierścieniową na rdzeniach o średnicy wewnętrznej 30 mm i zewnętrznej 36 mm zwijanych z taśm amorficznych. Pomiar tłumienności zrealizowano zgodnie z zaleceniami amerykańskiej normy MIL-STD 285 w komorze testowej z układem pomiarowym składającym się z analizatora sieci HP8752, anteny nadawczej, odbiorczej i wzmacniacza mocy w.cz. W komorze testowej usytuowany jest otwór o średnicy 30 cm, który po skalibrowaniu układu pomiarowego zasłaniany był badanym ekranem w celu określenia jego tłumienności. Ekran mocowano za pomocą uziemionego pierścienia uszczelniającego. Bardziej szczegółowy opis zastosowanej metodyki przedstawiono w pracy [4]. Tłumienność określano za pomocą współczynnika tłumienia b_s , [dB]

3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Pomiary własności magnetycznych badanych stopów w stanie bezpośrednio po odlaniu, wskazują na istotne różnicowanie własności magnetycznej szkieł metalicznych w zależności od ich składu chemicznego (tabl. 1,2).

Tablica 1

Własności szkieł metalicznych otrzymane z pierwotnej krzywej magnesowania i z krzywej przenikalności (dla 50 Hz)

Lp.	Materiał	H_{\max} [A/cm]	B_{\max} [T]	$\mu_{r \max}$	$\mu_{r \text{pocz.}}$
1	$\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$	0,08	0,65	65678	6043
2	$\text{Co}_{60}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_5\text{Si}_{11}\text{B}_{14}$	0,01	0,29	135620	51022
3	$\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{13,5}\text{B}_{13}$	0,01	0,24	131644	53081
4	$\text{Co}_{69}\text{Mo}_2\text{Fe}_4\text{Si}_{14}\text{B}_{11}$	0,01	0,35	188237	73627
5	$\text{Co}_{70,5}\text{Fe}_{2,5}\text{Mn}_2\text{Mo}_1\text{Si}_9\text{B}_{15}$	0,04	0,64	130261	44030

Na podstawie analizy krzywej magnesowania pierwotnego stwierdzono, że ze stopów na podstawie kobaltu zdecydowanie największe wartości przenikalności magnetycznej posiada stop $\text{Co}_{69}\text{Mo}_2\text{Fe}_4\text{Si}_{14}\text{B}_{11}$ dla którego $\mu_{r \max} = 188237$ i $\mu_{r \text{pocz.}} = 73627$, natomiast najniższe ale dobre wartości przenikalności posiada stop $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ dla którego $\mu_{r \max} = 65678$ oraz $\mu_{r \text{pocz.}} = 6043$. Wyznaczone pętle histerezy magnetycznej wykazały, że największe wartości pozostałości magnetycznej i pola koercji stwierdzono dla stopu $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ dla którego

$B_r = 0,74$ T i $H_c = 0,134$ A/cm, a najmniejsze dla stopu $Co_{68}Fe_4Mo_{1,5}Si_{13,5}B_{13}$ dla którego $H_c = 0,016$ A/cm, natomiast $B_r = 0,301$ T.

Tablica 2

Własności szkieł metalicznych wyznaczone z pętli histerezy (50 Hz)

Lp.	Materiał	H_{max} [A/cm]	B_{max} [T]	B_r [T]	H_c [A/cm]
1	$Fe_{78}Si_9B_{13}$	1,63	0,80	0,740	0,134
2	$Co_{60}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{14}$	0,51	0,41	0,414	0,045
3	$Co_{68}Fe_4Mo_{1,5}Si_{13,5}B_{13}$	0,82	0,59	0,301	0,016
4	$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11}$	0,80	0,62	0,397	0,020
5	$Co_{70,5}Fe_{2,5}Mn_2Mo_1Si_9B_{15}$	0,83	0,79	0,664	0,041

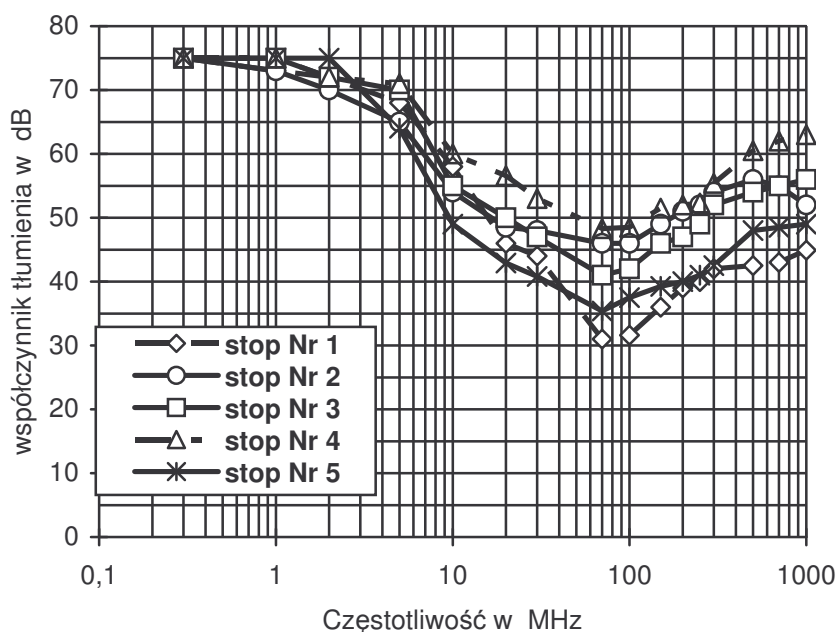
Bardzo dobre własności magnetyczne miękkie, a zwłaszcza wysoka przenikalność magnetyczna, która decyduje o bardzo dobrym tłumieniu składowej magnetycznej pól elektromagnetycznych, predysponuje takie materiały do ich wykorzystania na ekrany pól elektromagnetycznych.

Wyniki pomiarów tłumienności (współczynnika tłumienia b_s), w całym zakresie badanych częstotliwości, wskazują na bardzo skuteczne tłumienie składowej elektrycznej przez ekrany wykonane z badanych szkieł metalicznych z tendencją do zmniejszania się wraz ze zwiększaniem się częstotliwości (tabl. 3, rys. 1). Równocześnie dla wszystkich badanych ekranów występuje minimum tłumienia dla średniego zakresu częstotliwości pola (ok. 20 do 100 MHz). Dla częstotliwości pola elektromagnetycznego do 10 MHz oraz powyżej 250 MHz tłumienie składowej elektrycznej należy uznać za bardzo skuteczne.

Tablica 3

Tłumienie składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego dla badanych ekranów w [dB]

Nr.	Materiał	Grubość ekranu [mm]	Częstotliwość [MHz]						
			Pomiar punktowy					Pomiar ciągły	
			0,3	1	10	20	30	70-250	300-1000
1	$Fe_{78}Si_9B_{13}$	0,056	>75	73	58	46	44	31-39	41-43
2	$Co_{60}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{14}$	0,088	>75	73	54	48	47	46-53	51-56
3	$Co_{68}Fe_4Mo_{1,5}Si_{13,5}B_{13}$	0,058	>75	>75	55	50	47	41-46	49-58
4	$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11}$	0,062	>75	>75	60	57	53	48-52	55-63
5	$Co_{70,5}Fr_{2,5}Mn_2Mo_1Si_9B_{15}$	0,088	>75	75	49	43	41	34-41	42-49



Rys. 1. Tłumienie składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego w funkcji częstotliwości dla badanych ekranów (oznaczenie próbek wg numeracji w tabelach 1-3)

Mniejsze tłumienie występuje dla składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego, które dla stopów kobaltowych zwiększa się wraz ze wzrostem częstotliwości (tabl. 4). Najlepszą skuteczność tłumienia stwierdzono dla ekranu wykonanego ze stopu $\text{Co}_{69}\text{Mo}_2\text{Fe}_4\text{Si}_{14}\text{B}_{11}$, co potwierdza uzyskane dla tego stopu wyniki największej przenikalności magnetycznej. Najmniejszą skuteczność ekranowania wykazuje stop na osnowie żelaza $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ co związane jest z jego najniższą przenikalnością magnetyczną spośród badanych stopów. Z uwagi na zróżnicowanie grubości ekranów, która dla stopów kobaltowych jest wynikiem stosowanej laboratoryjnej technologii odlewania, należy przyjąć, że uzyskane rezultaty badań odnoszą się do konkretnych ekranów o określonym splocie uzyskanych z taśm o określonej szerokości i grubości.

Tablica 4

Tłumienie składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego dla badanych ekranów w [dB]

Nr.	Materiał	Grubość ekranu [mm]	Częstotliwość [kHz]						
			0,1	1	10	100	200	500	1000
1	$\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$	0,056	4,0	3,6	3,4	3,4	3,4	3,4	3,6
2	$\text{Co}_{60}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_5\text{Si}_{11}\text{B}_{14}$	0,088	10,5	11,0	11,0	14,0	16,7	20,0	22,3
3	$\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{13,5}\text{B}_{13}$	0,058	10,4	11,3	11,7	13,2	13,3	13,6	14,0
4	$\text{Co}_{69}\text{Mo}_2\text{Fe}_4\text{Si}_{14}\text{B}_{11}$	0,062	14,0	14,2	14,7	18,4	19,2	20,0	20,0
5	$\text{Co}_{70,5}\text{Fr}_{2,5}\text{Mn}_2\text{Mo}_1\text{Si}_9\text{B}_{15}$	0,088	7,8	8,0	8,2	10,2	12,3	14,6	14,6

W celu zwiększenia skuteczności tłumienia składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego analizowano możliwości jakie wynikają z zastosowania ekranów warstwowych mieszanych, w szczególności rozpoczynając od dodania do ekranu najbardziej skutecznego dodatkowego ekranu z taniego stopu na osnowie żelaza. Uzyskane wyniki badań skuteczności ekranowania dla składowej elektrycznej pola przy dokładaniu kolejnych warstw ekranów przedstawiono w tabeli 5. Stwierdzono znaczący wzrost skuteczności ekranowania w przypadku zastosowania dodatkowej warstwy tłumiącej (przykład dla ekranów $Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11} + Fe_{78}Si_9B_{13}$). W tym przypadku, jedynie dla średnich częstotliwości pola istnieje niewielkie minimum wartości współczynnika tłumienia b_s do poziomu pomiędzy 53 - 60 dB. Wprowadzenie dodatkowej trzeciej warstwy ekranującej powoduje uzyskanie tak znaczącego osłabienia składowej elektrycznej pola za ekranem (przekraczające 10^7 razy), że przekracza to możliwości pomiarowe stosowanego układu. W tej sytuacji nie prowadzono dalszych badań przy dodawaniu kolejnych warstw ekranujących.

Tablica 5

Tłumienie składowej elektrycznej pola elektro magnetycznego zakres: 10 - 1000 MHz przez składane ekrany hybrydowe; b_s [dB]

Częstotliwość [MHz]	10	20	30	70	100	150	200	300	500	700	1000
$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11}$	60	56,6	53,5	48,3	48,5	51,5	52,3	55,4	60,5	62	63
$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11} + Fe_{78}Si_9B_{13}$	>71	62,5	58	53	55	59	60	62	66	68	70
$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11} + Fe_{78}Si_9B_{13} + Co_{60}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{14}$	>71	tłumienie przekraczające zakres możliwości pomiarowych >75 dB									

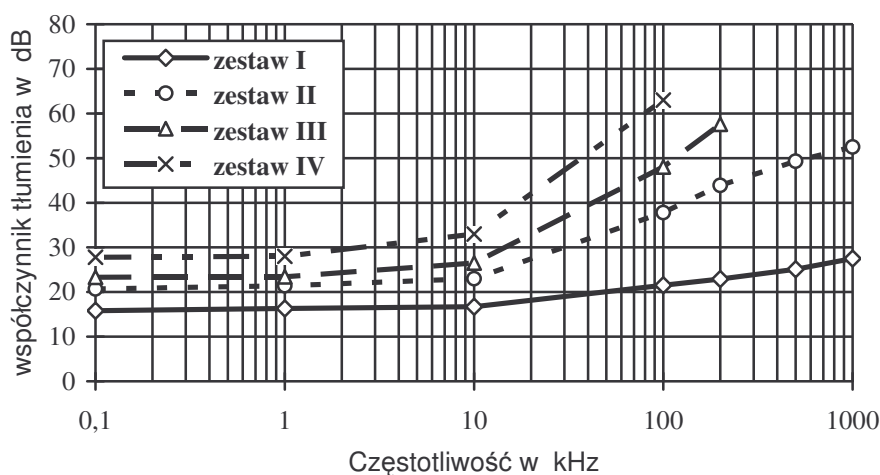
Tłumienie składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego dla przypadku zastosowania składanych ekranów hybrydowych przedstawiono w tablicy 6 oraz na rys 2.

Tablica 6

Tłumienie składowej magnetycznej pola elektro magnetycznego zakres: 0,1 - 1000 kHz przez składane ekrany hybrydowe; b_s [dB]

Nr zestawu	Częstotliwość [kHz]	0,1	1	10	100	200	500	1000
I	$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11} + Fe_{78}Si_9B_{13}$	15,8	16,3	16,7	21,5	22,9	25,1	27,5
II	$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11} + Fe_{78}Si_9B_{13} + Co_{60}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{14}$	20,7	21,4	23,0	37,8	43,9	49,3	52,5
III	$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11} + Fe_{78}Si_9B_{13} + Co_{60}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{14} + Co_{70,5}Fr_{2,5}Mn_2Mo_1Si_9B_{15}$	23,3	23,4	26,5	48	57,6	> 58	>
IV	$Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11} + Fe_{78}Si_9B_{13} + Co_{60}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{14} + Co_{70,5}Fe_{2,5}Mn_2Mo_1Si_9B_{15} + Co_{68}Fe_4Mo_{1,5}Si_{13,5}B_{13}$	27,8	28,0	33	63	> 64	>	>

Stwierdzono możliwość znacznego poprawienia skuteczności ekranowania składowej magnetycznej w miarę dokładania kolejnych warstw tkanin ze szkieł metalicznych. W zakresie częstotliwości do 10 kHz tłumienność ekranów zależna od badanego zestawu posiada niewiele zróżnicowane wartości wzrastające w miarę dodawania kolejnych warstw. Wysoką skuteczność ekranowania składowej magnetycznej pola uzyskano dla częstotliwości wyższych od 10 kHz przy zastosowaniu ekranu co najmniej dwuwarstwowego (zestaw II; rys.2). W tym przypadku skuteczność ekranowania powyżej 20 dB należy uznać za dobrą, co odpowiada ponad 100 krotnemu osłabieniu składowej elektrycznej pola za ekranem. Zwiększanie liczby warstw ekranów szczególnie dla wyższych częstotliwości powoduje dalsze znaczące osłabienie pola za ekranem, co przy zestawie cztero i pięciowarstwowym przekracza poziom 50 i 60 dB.



Rys. 2. Tłumienie składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego przez ekrany kładane hybrydowe (zestaw ekranów I – IV wg tablicy 6)

LITERATURA

1. Indulski I.A.(red): Kryteria zdrowotne środowiska. Fale radiowe i mikrofae. t.16 PZWL, Warszawa 1987
2. Griner S., Nowosielski R.: „Wytwarzanie szkieł metalicznych w postaci taśm i włókien metodami ciągłego odlewania” Mat. Konf. Nowoczesne osiągnięcia metaloznawstwa, PAN, Pol.Śl, 1992
3. Griner S., Nowosielski R.: „Techniczne aplikacje szkieł metalicznych”, Mat. Konf. Nowoczesne osiągnięcia metaloznawstwa”, PAN, Pol.Śl, 1992
4. Nowosielski R., Griner S.: Tłumienie pól elektromagnetycznych przez ekrany na osnowie Fe i Co”, Inżynieria Materiałowa 1, (96), 1997, s.11
5. Nowosielski R., Griner S.: "Tłumienie pól elektromagnetycznych przez ekrany jedno- i wielowarstwowe ze szkła metalicznego $Co_{69}Mo_2Fe_4Si_{14}B_{11}$ ", Mater. Konfer, 6th Intern. Scientific Conf. AMME'97, Gliwice - Wisła , 1997, s.149
6. Griner S., Nowosielski R.: „Tłumienie pól elektromagnetycznych przez ekrany ze szkła metalicznego $Co_{70,5}Fr_{2,5}Mn_2Mo_1Si_9B_{15}$ ”, Mater. Konf. 10th Intern. Scientific Conf. AMME'2001, Gliwice – Kraków - Zakopane , 2001, s. 383