

Badanie wybranych właściwości fizycznych anten znaczników RFID drukowanych w technice natryskowej

Słowa kluczowe: RFID, elektronika drukowana, antena

Streszczenie

Drukowanie elementów elektronicznych staje się coraz ważniejszym obszarem zastosowania technik poligraficznych. Drukowanie anten znaczników RFID umożliwia uzyskanie niskiego kosztu jednostkowego ich wytworzenia, a jednocześnie daje możliwość łatwej integracji z wieloma produktami, np. inteligentnymi etykietami. Potencjalnie najbardziej interesujące techniki drukowania bez form, tj. cyfrowe, tworzą obraz z elementarnych punktów, np. kropli. Stąd też interesujące staje się zbadanie, czy taka technika drukowania wpływa negatywnie na właściwości fizyczne wydrukowanych anten.

W artykule opisano badania rezystancji, chropowatości oraz grubości nadruku dla anten HF i UHF RFID drukowanych techniką natryskową (inkjet). Na podstawie uzyskanych wyników wyliczono wartości parametrów wpływających na efektywność takich anten przy założonych częstotliwościach pracy. Badania udowodniły, że wykonane w ten sposób anteny spełniają wszystkie wymagania użytkowe.

Wstęp

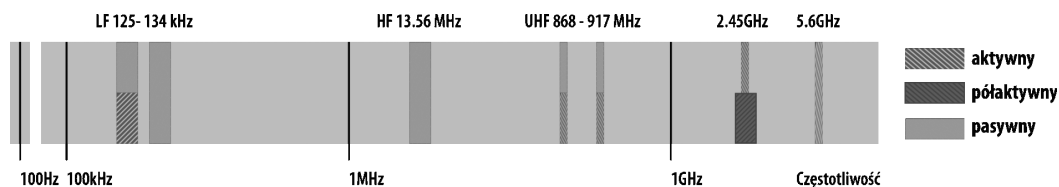
Znaczniki RFID można podzielić na te, które komunikują się za pomocą sprzężenia indukcyjnego, i te, których komunikacja odbywa się za pośrednictwem promieniowania fal elektromagnetycznych. Ten podział determinuje częstotliwości, na których praca systemu jest najefektywniejsza. Najczęściej stosowane są częstotliwości z zakresu: LF (ang. Low Frequency) – 125/134,2 kHz, HF (ang. High Frequency) – 13,56 MHz lub UHF (ang. Ultra High Frequency) – 860–960 MHz oraz 2,4 GHz¹.

Typową częstotliwością z zakresu HF jest 13,56 MHz. Układy RFID pracujące przy tej częstotliwości są szeroko stosowane w kartach zbliżeniowych, zabezpieczeniach przed kradzieżą, biletach itp., zgodnie z normami ISO/IEC 18000-3, ISO 15693 oraz ISO 14443. Zasięg odczytu wynosi ok. 1 m. Antena ma typowo postać cewki planarnej (w celu minimalizacji wymaganej powierzchni). Komunikacja odbywa się za pomocą sprzężenia elektromagnetycznego.

[1] A. Dziedzic, P. Markowski, P. Słobdzian: *Anteny znaczników RFID – wybrane problemy materiałowe i technologiczne*, [w:] *Drukowana elek-*

tronika w Polsce, pr. zbiorowa pod red. M. Jakubowskiej i J. Sitka, Warszawa 2010, Instytut Tele- i Radiotechniczny, s. 98–109.

Częstotliwości stosowane w układach UHF RFID to 433 MHz oraz 860–960 MHz (typowo 900 MHz), zgodnie z normą ISO/IEC 18000-6. W niektórych układach stosowany jest zakres mikrofalowy (2,45 GHz), zgodnie z normą ISO/IEC 18000-4. Antena ma postać dipola o różnych kształtach (komunikacja zachodzi przez wypromieniowanie fal elektromagnetycznych). Znaczniki z tego zakresu częstotliwości mogą mieć najmniejszy rozmiar i są często stosowane w układach zabezpieczających przed kradzieżą.



Rys. 1. Zakresy częstotliwości dla wykorzystywanych znaczników RFID

Przy częstotliwości pracy ok. 900 MHz i warstwie na bazie srebra optymalna grubość warstwy w celu uzyskania właściwej charakterystyki odbiorczej anteny wynosi $19,4 \mu\text{m}^2$. Utrudnia to jej realizację technikami innymi niż sitodruk. Możliwe jest naniesienie dwu warstw nadruku, ale wiąże się to z możliwością zmiany charakterystyki anteny poprzez niedokładne spasowanie obu warstw.

Projektowanie anten dla układów RFID zakłada, że impedancja anteny musi być równa impedancji układu w celu uzyskania optymalnej charakterystyki pracy³. Ma to szczególne znaczenie dla zapewnienia odpowiedniej odległości odczytu znaczników pasywnych. Dopasowanie to może być utrudnione przez fakt, że impedancja układu zależy także od charakterystyki montażu i może znacząco zmieniać się wraz z częstotliwością. Ponadto na funkcjonowanie anteny wpływa także otoczenie znacznika, w szczególności charakterystyka obiektu, w tym zawartość opakowania, na którym tag się znajduje, lub obecność elementów przewodzących (np. warstw barierowych) w sąsiedztwie anteny⁴. Grubość anteny powinna być większa niż grubość warstwy naskórkowej dla danego materiału i częstotliwości pracy⁵. Dla srebra oznacza to grubość powyżej $4 \mu\text{m}$.

Drukowanie anten wymaga stosowania materiałów o odpowiednio dobrej przewodności elektrycznej. Uzyskanie przewodności w materiale poligraficznym możliwe jest dzięki zastosowaniu odpowiednich składników, którymi mogą być:

- materiały przewodzące (np. pigmenty lub spoiwa – polimery),

[2] K. Janeczek i in.: *Anteny na zakres UHF wykonane techniką sitodruku na podłożach elastycznych*, [w:] *Drukowana elektronika w Polsce*, Warszawa 2010, Instytut Tele- i Radiotechniczny, s. 110–122.
 [3] M.-T. Zhang, Y.-C. Jiao, F.-S. Zhang, W.-T. Wang: *Design of Antennas for RFID Application, Development and Implementation of RFID Technology*, Cristina Turcu (Ed.), InTech 2009, available from: <http://www.intechopen.com/books/>

[development_and_implementation_of_rfid_technology/design_of_antennas_for_rfid_application](http://www.intechopen.com/books/development_and_implementation_of_rfid_technology/design_of_antennas_for_rfid_application)

[4] Tamże.

[5] A. Rida, Y. Li, M.M. Tentzeris: *Design and characterization of novel paper-based inkjet-printed UHF antennas for RFID and sensing applications*, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2749–2752, Atlanta, USA, 2007.

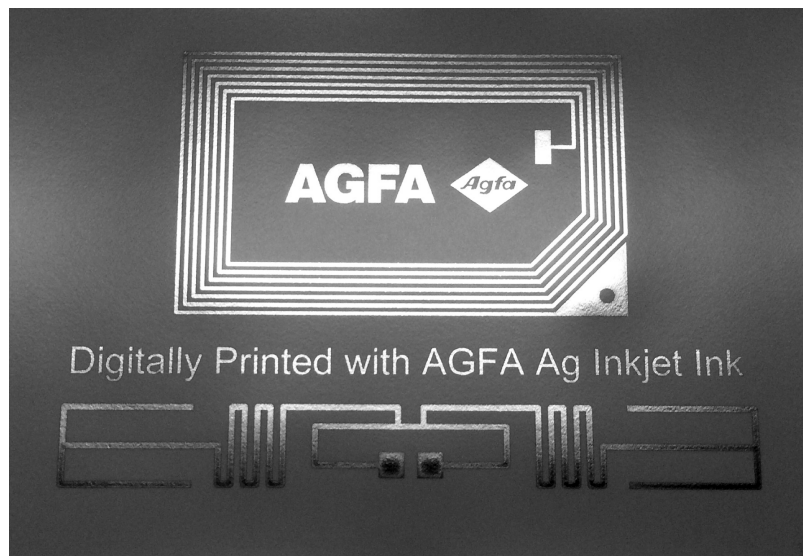
- materiały – prekursorzy (wymagające dodatkowej operacji po naniesieniu, np. wygrzewania lub redukcji; przykładem jest tlenek miedzi, redukowany po naniesieniu do miedzi metalicznej będącej docelowym przewodnikiem⁶.

Typowym składnikiem zapewniającym przewodnictwo farby jest obecnie srebro w różnej postaci (płatków, nanocząstek, nanorurek), o względnie wysokiej zawartości w farbie (do 80% w farbach sitodrukowych i 60% w farbach ciekłych); z uwagi na wysoki koszt tego materiału niektórzy dostawcy (np. DuPont) tworzą nowe specyfikacje farb przewodzących zawierających znacznie mniej pigmentów metalicznych (do 40%).

Badania

Przeprowadzone badania miały na celu stwierdzenie, czy parametry anten drukowanych techniką cyfrową mogą być porównywalne z parametrami anten wykonywanych metodą tradycyjną, np. z folii metalicznych. W tym celu należało określić wartości najważniejszych parametrów fizycznych wydrukowanej anteny, które wpływają na jej zachowanie w polu elektromagnetycznym, tj. przewodność, grubość nadruku i chropowatość powierzchni.

Przedmiotem badań były projekty anten wykonanych z użyciem farby przewodzącej nAg na podłożu PP o grubości 100 mikrometrów, aktywowanym do energii swobodnej przekraczającej 42 mN/m, co określono, używając pisaka testowego Fischer Testmarker. Podłoże zostało zadrukowane techniką natryskową z wykorzystaniem farby Agfa Ag Inkjet Ink, na maszynie cyfrowej z głowicami Konica



Rys. 2. Zdjęcia elementów anten i znaczników RFID wydrukowanych cyfrowo

[6] C. Paquet, R. James, A. J. Kell, J. Ferrigno, O. Mozenon, S. Lafrenière, P. R. L. Malenfant: *Photosintering and electrical performance of CuO*

nanoparticle inks, „Organic Electronics Volume” 15, 8 August 2014, s. 1836–1842.

Minolta KM1024i LHE, a następnie wygrzewane w temperaturze 150°C przez 30 minut. Drukowany obraz graficzny stanowiły standardowe projekty anten HF i UHF używane w znacznikach RFID – cewka planarna o 6 zwojach dla częstotliwości 13,56 MHz oraz dipol dla częstotliwości 860 MHz. Założono, że projekty anten są dostosowane do wymaganej charakterystyki pracy oraz użytych materiałów.

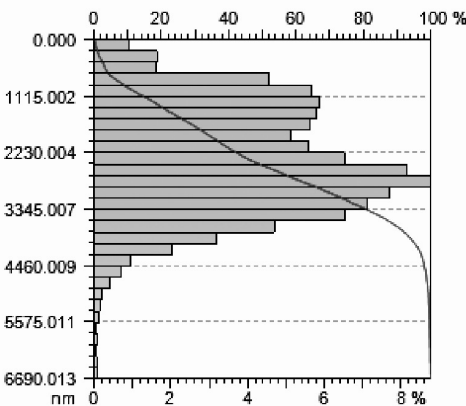
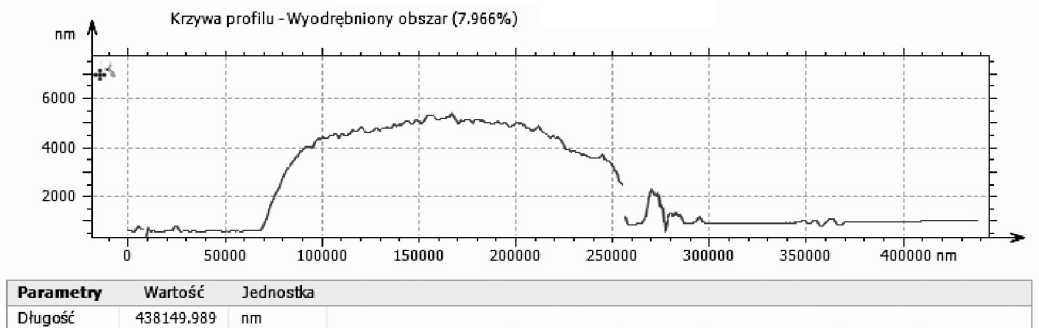
Pomiary przeprowadzone bezpośrednio po nadrukowaniu wykazały następujące parametry:

- Rezystancja 0,104 Ω/\square
- Test adhezji wg ISO 2049 wynik pomyślny

Pomiar rezystancji wykonany po 14 dniach w analogicznych warunkach wykazał wartość 0,106 Ω/\square , co wskazuje na wystarczającą stabilność warstwy przewodzącej.

Wydrukowane anteny poddano obserwacji mikroskopowej w celu określenia rozdzielczości drukowania. Zaobserwowane powtarzalne struktury miały przeciętny rozmiar 69 μm , co jest spójne z objętością kropli atramentu według specyfikacji głowicy (30 pl, co odpowiada kuli o średnicy 38 μm lub cylindrowi

Rys. 3. Przekrój profilometryczny przez linię nadruku z rys. 2. i parametry chropowości profilu



ISO 4287

Parametry amplitudy - profil chropowości

Rp	1498.771	nm	Filtr gaussowski, 0.8 mm
Rv	1785.439	nm	Filtr gaussowski, 0.8 mm
Rz	3284.210	nm	Filtr gaussowski, 0.8 mm
Rc	1861.026	nm	Filtr gaussowski, 0.8 mm, Bez poprawki ISO 4287 2
Rt	4540.000	nm	Filtr gaussowski, 0.8 mm
Ra	668.634	nm	Filtr gaussowski, 0.8 mm
Rq	793.840	nm	Filtr gaussowski, 0.8 mm
Rsk	0.136		Filtr gaussowski, 0.8 mm
Rku	2.189		Filtr gaussowski, 0.8 mm

Parametry stosunku materiałowego - profil chropowości

Rmr	23.950	%	$\phi = 1000$ nm pod najwyższym pikiem, Filtr gaussowski, 0.8 mm
Rdc	1541.430	nm	$p = 20\%$, $q = 80\%$, Filtr gaussowski, 0.8 mm

o wysokości 6 μm i średnicy 55 μm). Zaobserwowana faktyczna rozdzielczość drukowania wynosi zatem 368 linii/cal (145 linii/cm) i odpowiada jakości drukowania uzyskiwanej tradycyjnymi technikami poligraficznymi.

Pomiary profilometryczne nadruku wykonane za pomocą profilometru optycznego Nanovea PS 50 wykazały, że średnia grubość utrwalonej warstwy farby w przypadku linii uzyskanych w wyniku ww. procesu nadruku wynosi 6 μm dla anten HF i 5,8 μm dla anten UHF. Widoczne są typowe dla metod natryskowych drobne wady w pobliżu krawędzi obrazu, odpowiadające rozpryskom kropli. Widoczne jest też, że powierzchnia nadruku ma wypukłość wynikającą z menisku kropli na powierzchni podłoża niechłonnego, co jest charakterystyczne dla technik druku wykorzystujących farby o niskiej lepkości.

Zmierzona chropowatość nadruku wyniosła $R_z = 3,3 \mu\text{m}$ i odpowiada 8. klasie chropowatości powierzchni według PN-EN ISO 1302:2004. Parametr $R_a = 0,67 \mu\text{m}$ jest porównywalny z wartościami osiągniętymi przy drukowaniu ścieżek przewodzących w warunkach laboratoryjnych, gdzie osiągnano wartości ok. 0,4 μm^7 . Grubość warstwy naskórkowej dla materiału nAg wynosi od 2,5 do 4 μm w zależności od rezystywności⁸, co oznacza, że antena o parametrach takich, jak nadrukowany obraz będzie pracować w warunkach bliskich optymalnym. Obraz profilu wskazuje, że ziarna pigmentu są co najmniej o rząd wielkości mniejsze niż zmierzona grubość nadruku, a ich rozmieszczenie w materiale wyjściowym jest względnie równomierne. Nie zaobserwowano deformacji materiału podłoża ani pęknięć warstwy nadruku spowodowanych niejednakową rozszerzalnością termiczną podłoża i pigmentu metalicznego w trakcie wygrzewania. Na podstawie wyników pomiarów określono rezystywność ρ warstwy nadruku, która wynosi ok. $62 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}$. Przewodność tego nadruku wynosi zatem $1/\rho = 1,6 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ i jest porównywalna z przewodnością folii metalicznych używanych do produkcji trawionych anten RFID (miedź metaliczna, srebro metaliczne)⁹. W oparciu o ww. wartości parametrów określono także współczynnik korekcji rezystancji dla prądu zmiennego dla wykonanego nadruku według wzoru:¹⁰

$$c = 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \left[1,4 \left(\frac{R_a}{\delta} \right)^2 \right]$$

gdzie δ – grubość warstwy naskórkowej.

Dla $R_a = 0,6 \mu\text{m}$ i $\delta = 3,83 \mu\text{m}$ (zgodnie z danymi literaturowymi) $c = 1,022$, tj. rezystancja wydrukowanej ścieżki dla prądu zmiennego będzie o 2,2% wyższa

[7] K. Janeczek, K. Futera, G. Kozioł, M. Jakubowska, A. Młodziak, T. Serzysko: *Environmentally Friendly Technology of Antenna Manufacturing on Flexible Substrates, Progress in Eco-Electronics Vol. 2*, Warszawa 2012, Instytut Tele- i Radiotechniczny, s. 53–62

[8] Tamże.

[9] A. Syed, K. Demarest, D.D. Deavours: *Effects of Antenna Material on the Performance of UHF RFID Tags*, 2007 IEEE International Conference on RFID, DOI: 10.1109/RFID.2007.346150

[10] D.-Y. Shin, Y. Lee, H. Chung: *Performance characterization of screen printed radio frequency identification antennas with silver nanopaste*, „Thin Solid Films” 2009, vol. 517, nr 21, s. 6112–6118.

niż zmierzona, co jest porównywalne z wartościami uzyskiwanymi w innych badaniach eksperymentalnych¹¹ i wskazuje na poprawne funkcjonowanie nadrukowanej anteny przy zamierzonych warunkach pracy.

Wnioski

Zbadane nadruki uzyskały parametry porównywalne z antenami wykonywanymi metodami trawienia z folii metalicznych, co oznacza, iż nadają się do komercyjnego wykorzystania. Pomimo względnie niskiej faktycznej rozdzielczości drukowania uzyskana ciągłość nadruku i precyzja rysunku jest wystarczająco dobra dla zastosowań użytkowych. Wskazuje to na możliwość masowej produkcji anten znaczników RFID technikami drukowania natryskowego bezpośrednio na produktach/półproduktach, np. materiałach do produkcji etykiet. Chropowatość nadruku jest niska i nie zauważono negatywnych efektów związanych z użyciem pigmentu metalicznego. Uzyskana grubość nadruku jest porównywalna z grubością nadruku wykonanego techniką fleksograficzną i znacznie niższa niż grubość uzyskiwana w sitodruku, tym niemniej nie obniża ona znacząco parametrów użytkowych anteny.

[11] K. Janeczek i in.: *Environmentally Friendly...*, dz. cyt.

Bibliografia

1. Dziedzic A., Markowski P., Słobodzian P., *Anteny znaczników RFID – wybrane problemy materiałowe i technologiczne* [w:] *Drukowana elektronika w Polsce*, Warszawa 2010.
2. Janeczek K., Futera K., Koziół G., Jakubowska M., Młóżniak A., Serzysko T., *Environmentally Friendly Technology of Antenna Manufacturing on Flexible Substrates*, „Progress in Eco-Electronics”, 2012, Vol. 2.
3. Janeczek K. i in., *Anteny na zakres UHF wykonane techniką sitodruku na podłożach elastycznych* [w:] *Drukowana Elektronika w Polsce*, Warszawa 2010.
4. Paquet C., James R., Kell A.J., Ferrigno J., Mozenon O., Lafrenière S., Malenfant P.R.L., *Photosintering and electrical performance of CuO nanoparticle inks*, „Organic Electronics”, Vol. 15, Issue 8, August 2014.
5. Rida A., Yang L., Tentzeris M. M., *Design and characterization of novel paper-based inkjet-printed UHF antennas for RFID and sensing applications*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Atlanta, USA, 2007.
6. Syed A., Demarest K., Deavours D.D., *Effects of Antenna Material on the Performance of UHF RFID Tags*, 2007 IEEE International Conference on RFID, DOI: 10.1109/RFID.2007.346150.
7. Shin D.-Y., Lee Y., Chung H., *Performance characterization of screen printed radio frequency identification antennas with silver nanopaste*, „Thin Solid Films”, 2009, Vol. 517, No. 21.
8. Zhang M.-T., Jiao Y.-C., Zhang F.-S. and Wang W.-T., *Design of Antennas for RFID Application*, Development and Implementation of RFID Technology, Cristina Turcu (Ed.), 2009, Available from: http://www.intechopen.com/books/development_and_implementation_of_rfid_technology/design_of_antennas_for_rfid_application.

Abstract*Analysis of selected physical properties of inkjet-printed RFID tag antennae*

Printing of electronic elements constitutes now an increasingly more important aspect of graphic arts techniques. RFID tag antennae printing allows for lowering unit production cost, as well as facilitates integration with many products, eg. smart labels. Theoretically the most interesting digital printing techniques (without printing forms) create image using elementary dots, eg. droplets. Thus it is interesting to analyze whether such printing technique negatively affects physical properties of printed antennae.

The paper presents analysis of resistance, surface roughness and ink layer thickness for HF and UHF antennae printed using inkjet heads and inks. Based on the results, one has calculated some parameters influencing the antennae suitability for given work frequencies. The research shows that antennae printed in such way conform to all usability specifications.

