ZAKŁAD MIKROELEKTRONIKI

Kierownik : dr inż. Piotr GUZDEK / dr Jan KULAWIK
e-mail: pguzdek@ite.waw.pl
tel. (12) 656 31 44, fax (12) 656 36 26

Zespół: dr hab. inż. Dorota Szwagierczak, prof. nadzw. w ITE,
dr inż. Wiesław Zaraska, dr inż. Wojciech Grzesiak,
dr inż. Ewa Klimiec, dr Agata Skwarek, dr inż. Agata Stoch,
dr inż. Piotr Zachariasz, mgr Tomasz Maj,
mgr inż. Jacek Piekarski, mgr inż. Beata Synkiewicz,
mgr inż. Krzysztof Witek, mgr inż. Krzysztof Zaraska

1. Projekty badawcze realizowane w 2014 r.

Działalność statutowa

1) Projekt B. Nanoelektronika heterogenicznych mikrosystemów oraz krzemowych przyrządów dla zastosowań interdyscyplinarnych (kierownik projektu: dr inż. Piotr Grabiec, prof. nadzw. w ITE)
   - Zadanie B2. Integracja konstrukcji i technologii mikrosystemów z układami elektroniki odczytu i sterowania dla potrzeb inteligentnych sieci sensorowych oraz Internetu obiektów (IoT)
2) Projekt D. Nano- i mikromateriały dla zastosowań w technologiach warstw grubych (kierownik projektu: dr inż. Piotr Guzdek)
   - Zadanie D1. Opracowanie funkcjonalnych folii ceramicznych i ich zastosowanie do wytwarzania wielowarstwowych elementów biernych oraz obudów o dopasowanej do krzemu rozszerzalności termicznej (Etap II)
   - Zadanie D2. Bazowe procesy i materiały drukowanej elektroniki polimerowej (Etap II)
   - Zadanie D3. Rozwój zaawansowanych metod charakteryzacji strukturalno-elektrycznych oraz nanotechnologii FIB dla wbudowywania w struktury LTCC nano- i makroobiektów o zaprogramowanych właściwościach (Etap II)

Inne projekty

- Otrzymywanie i charakterystyka nowych bezołowiowych nieferroelektrycznych materiałów ceramicznych na kondensatory z zaporową warstwą wewnętrzną (projekt badawczy nr N N 507 2182 40)
- Analiza występowania wiskerów i zarazy cynowej wpływających na jakość lutów bezołowiowych o wysokiej zawartości cyny (projekt badawczy nr N N 515 5039 40)

- Badania wpływu parametrów procesu technologicznego na skład chemiczny i strukturę amorficznych stopów rezystywnych typu Ni-P oraz Ni-Me-P, determinujące właściwości elektryczne i przydatność stopów do wytwarzania precyzyjnych rezystorów warstwowych (projekt badawczy nr N N 515 5040 40)
- Synteza i charakteryzacja właściwości magnetoelektrycznych elastycznych kompozytów piezopolimer-ceramika-metal (projekt badawczy 0297/IP2/2013/72)
- Synteza, właściwości elektryczne i magnetyczne objętościowych i warstwowych kompozytów magnetoelektrycznych typu ferryt-relaksor (projekt badawczy DEC-2013/11/D/ST5/02990)
- Nowoczesne materiały i innowacyjne metody dla przetwarzania i monitorowania energii (MIME – Projekt POIG)
- Low-Cost and Energy-Efficient LTCC Sensor/IR-UWB Transceiver Solutions for Sustainable Healthy Environment (projekt Senseiver w ramach programu Maria Curie)

2. Najważniejsze osiągnięcia naukowo-badawcze

Prace badawcze realizowane w Zakładzie Mikroelektroniki w ramach działalności statutowej oraz w ramach projektów badawczych finansowanych ze środków NCN, NCBiR oraz Komisji Europejskiej koncentrowały się na tematyce rozwoju bazy materiałowej oraz inżynierii procesów koniecznych dla wytwarzania wielowarstwowych elementów i struktur elektronicznych w technologii elektroniki drukowanej i technologii LTCC. Ponadto kontynuowano prace badawcze związane z rozwojem nowych generacji czujników oraz hybrydowych instalacji fotowoltaicznych, mających dodatkowe źródło energii w postaci generatorów termoelektrycznych wykorzystujących ciepło odpadowe.

Kontynuowano prace dotyczące opracowania i charakteryzacji funkcjonalnych materiałów dla potrzeb mikro- i nanoelektroniki, elektroniki drukowanej oraz ich zastosowania w urządzeniach mobilnych oraz układach konwersji i magazynowania energii. Wykorzystanie nowych zjawisk i właściwości mikro- i nanomateriałów stwarza nowe możliwości rozwoju elastycznej, drukowanej elektroniki polimerowej oraz technologii LTCC. Opracowano nowe kompozycje materiałów termistorowych oraz przeprowadzono ich badania. Wykonano pasty rezystywne do nanoszenia metodą sitodruku. Na bazie materiałów przeznaczonych do wykorzystania w technologii LTCC wykonano wielowarstwowe termistory. Przeprowadzono badania otrzymanych elementów, w tym badania trwałości wykonanych termistorów. Wykonane pasty wykorzystano do opracowania prototypowych demonstratorów, zawierających elementy wykonane w technologii elektroniki drukowanej.

We współpracy z Zakładem Zakładem Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych oraz Zakładem Projektowania Układów Scalonych i Syste-

mów opracowano rozproszony system monitorowania poziomu gazów w pomieszczeniach.

Opracowane struktury wielowarstwowe wykorzystano do prac badawczych mających na celu dopasowanie technik charakteryzacyjnych dla potrzeb badań mikrostruktury materiałów kompozytowych. Badano ceramiczne kompozyty magnetoelektryczne oraz kompozyty polimerowo-metaliczne.

Na szczególne wyróżnienie zasługuje:

- opracowanie na potrzeby technologii LTCC i elektroniki drukowanej nowych materiałów funkcjonalnych, kompatybilnych z materiałami dostępnymi komercyjnie, oraz ich zastosowanie do wytworzenia wielowarstwowych struktur metodą LTCC i elektroniki drukowanej;
- opracowanie i wykonanie demonstratora zawierającego elementy wykonane w technologii elektroniki drukowanej z autonomicznym systemem zasilania;
- opracowanie bezprzewodowej sieci czujnikowej do wykrywania tlenku węgla z autonomicznym systemem zasilania i bezprzewodową komunikacją;
- opracowanie optymalnych parametrów wytwarzania magnetoelektrycznych kompozytów ceramicznych i metaliczno-polimerowych.

3. Statutowe projekty badawcze

3.1. Nano- i mikromateriały dla zastosowań w technologiach warstw grubych

Zadanie D1. Opracowanie funkcjonalnych folii ceramicznych i ich zastosowanie do wytwarzania wielowarstwowych elementów biernych oraz obudów o dopasowanej do krzemu rozszerzalności termicznej (Etap II)

Kierownik zadania: dr hab. inż. Dorota Szwagierczak

Celem zadania było opracowanie i wykonanie nowych folii ceramicznych, zbadanie ich właściwości oraz zastosowanie do wytwarzania technologią LTCC wielowarstwowych termistorów o poszerzonym zakresie temperatur pracy.

Dokładny pomiar i kontrola temperatury odgrywają ważną rolę w nowoczesnych urządzeniach elektronicznych. Termistory, które są czułymi na zmiany temperatury rezystorami, są powszechnie stosowane jako czujniki temperatury ze względu na niski koszt, mały rozmiar, prostą konstrukcję, wysoką czułość, szybki czas odpowiedzi, wysoką termiczną i chemiczną stabilność. Zakres temperatur pracy najbardziej popularnych termistorów NTC (negative temperature coefficient of resistance), opartych na związkach o strukturze spinelu, jest jednak na ogół ograniczony do 200°C ze względu na niestabilną strukturę i skład w wyższych temperaturach. Stwarza to potrzebę poszukiwania nowych materiałów przydatnych do zastosowań w szerszym zakresie, przesuniętym w stronę wyższych temperatur.

Dobrymi kandydatami są materiały o strukturze perowskitu, zachowujące do bardzo wysokich temperatur stabilny skład i strukturę. Większość termistorów wytwarza się jako lite elementy płytkowe przy użyciu typowej procedury ceramicznej. Ponadto, do otrzymywania termistorów stosowane są techniki grubo- i cienkowarstwowe. Wykorzystanie technologii LTCC do tego celu jest znacznie mniej powszechne, mimo korzyści wynikających z możliwości regulowania rezystancji termistora.

Do wytworzenia trzech rodzajów perowskitowych folii termistorowych zastosowano metodę odlewania. Wielowarstwowe termistory wykonano technologią LTCC, zbadano ich mikrostrukturę oraz temperaturową zależność rezystancji w szerokim zakresie temperatur.

Dobór składów oraz warunków otrzymywania folii termistorowych i wielowarstwowych termistorów

Metodą reakcji w fazie stałej przeprowadzono syntezę trzech związków o strukturze perowskitu o składzie $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$, $CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$ i $CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$. Po zmieleniu w młynku kulowym ceramiczne proszki użyto do przygotowania gęstw do odlewania folii. Jako składniki organiczne gęstw użyto poliwinylobutyral jako spoiwo (ceramiczny proszek:spoiwo 10:1), olej rybi jako dyspersant, glikol polietylenowy i ftalan dwubutylu jako plastyfikatory (spoiwo: plastyfikatory 2:1), toluen i izopropanol jako rozpuszczalniki. Proszki ceramiczne i składniki organiczne gęstw mieszano w młynku kulowym przez 3 h.

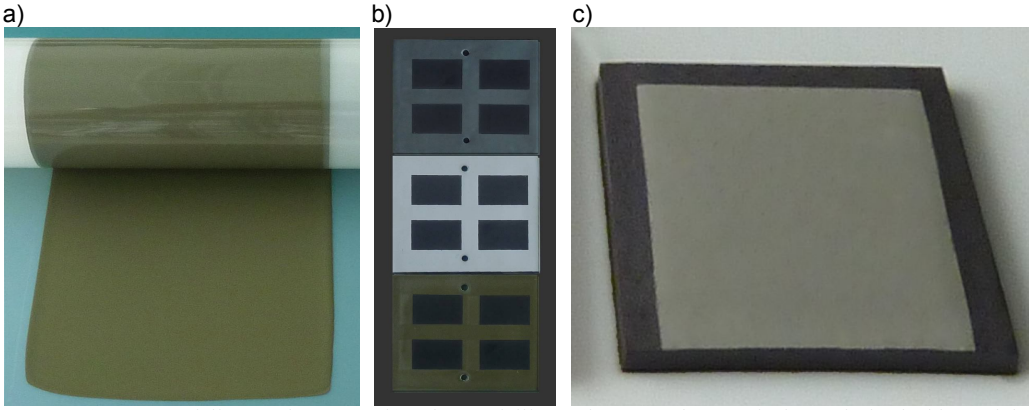
Folie termistorowe odlewano przy użyciu urządzenia firmy R. Mistler, a następnie suszono w temperaturze pokojowej i w temperaturze 50°C. Grubość folii po wysuszeniu wynosiła 80 μm. Otrzymane surowe folie były elastyczne, gładkie, pozbawione defektów i charakteryzowały się dobrą wytrzymałością mechaniczną.

Wygląd jednej z folii termistorowych ilustruje rys. 1a. Przy użyciu lasera (Oxford Lasers) wycinano z surowych folii mniejsze arkusze oraz otwory do pozycjonowania. Kolejnym etapem było nanoszenie sitodrukiem na arkuszach surowych folii termistorowych wewnętrznych elektrod z pasty platynowej 5542 firmy ESL. Rysunek 1b pokazuje arkusze surowej folii z nadrukowanymi elektrodami Pt.

Następnie odpowiednią ilość surowych folii układano w stos, zamykano pakiety w próżniowo zgrzewanych woreczkach i laminowano przy użyciu prasy izostatycznej (Pacific Trinetics Corporation) pod ciśnieniem 30 MPa w temperaturze 70°C przez 10 min. Całkowita liczba warstw wynosiła ok. 20. Grubość warstw wynosiła odpowiednio 45 μm, 90 μm i 135 μm, gdy wszystkie złożone warstwy miały nadrukowane elektrody lub gdy warstwa z elektrodami była przedzielona jedną lub dwiema warstwami folii bez elektrod.

Kolejnymi operacjami było cięcie laminatów na pojedyncze termistory i wypalanie wielowarstwowych elementów w piecu komorowym. Profil wypału dobrano tak, aby zapewnić powolne usuwanie składników organicznych do temperatury ok. 450°C, a następnie efektywne współspiekanie warstw ceramicznych z wew-

nętrznymi elektrodami metalicznymi w temperaturze 1250 ÷ 1350°C. Ostatnim etapem było ręczne nanoszenie zewnętrznych połączeń elektrod wewnętrznych wykonanych z pasty srebrowej i ich wypalanie w temperaturze 850°C



Rys. 1. a) Surowa folia termistorowa, b) arkusze folii termistorowych z naniesionymi sitodrukiem elektrodami z pasty Pt, c) wielowarstwowy termistor po procesie współspiekania warstw ceramicznych z wewnętrznymi elektrodami

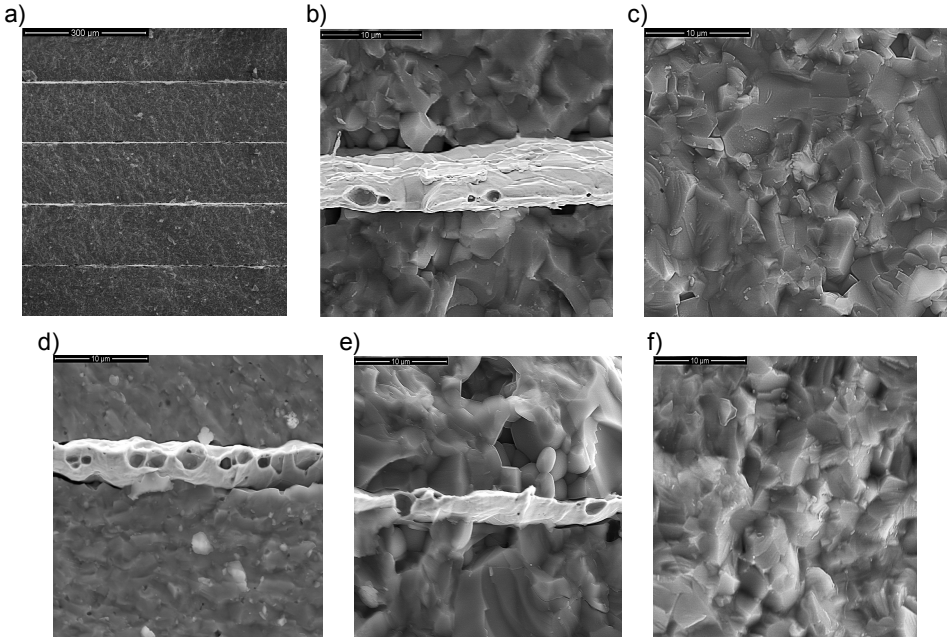
Równoległe połączenie wewnętrznych elektrod w wielowarstwowej strukturze LTCC pozwala na dostosowanie rezystancji poszczególnych rodzajów termistorów, opartych na materiałach o różnych rezystywnościach, do poziomu wymaganego do przeprowadzenia dokładnego pomiaru. Zmieniając liczbę i grubość warstw ceramicznych można uzyskać odpowiednie wartości rezystancji w zakresie temperatur, w którym planuje się przeprowadzanie kontroli temperatury.

Charakterystyka mikrostruktury wielowarstwowych termistorów

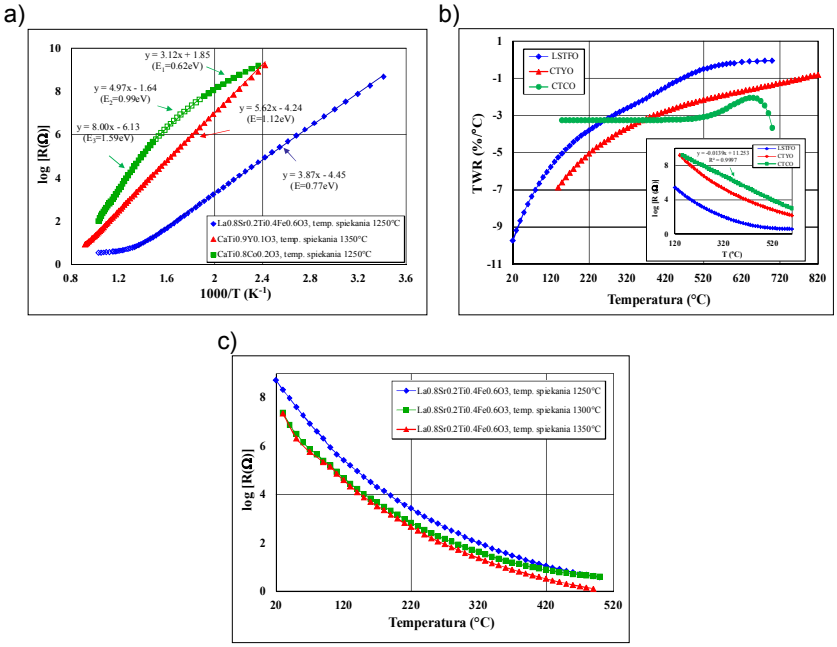
Na rys. 2 przedstawiono obrazy z mikroskopu skaningowego (FEI, USA) przełamów wytworzonych wielowarstwowych termistorów. Dla wszystkich badanych materiałów mikrostruktura warstw ceramicznych jest drobnoziarnista, jednorodna i zwarta, a współpraca z wewnętrznymi elektrodami bardzo dobra. Nie występują delaminacje, pęknięcia, wytrącenia obcych faz na granicy faz elektroda-warstwa ceramiczna.

Badania właściwości elektrycznych wielowarstwowych termistorów

Wyznaczano zależność rezystancji wytworzonych wielowarstwowych termistorów od temperatury w zakresie od –55°C do 820°C. Obliczano temperaturowy współczynnik rezystancji *TWR* ($TWR = \mathrm{d}R_T/R_T\mathrm{d}T$, gdzie R_T jest rezystancją w temperaturze T), wartości stałej B ($B = (T_1T_2)/(T_2 - T_1)\ \ln(R_1/R_2)$, gdzie R_1 i R_2 oznacza rezystancję w temperaturze T_1 i T_2) oraz energie aktywacji przewodnictwa elektrycznego. Na rys. 3a i 3b porównano rezystancje i temperaturowe współczynniki rezystancji dla trzech badanych składów.



Rys. 2. Obrazy z mikroskopu skaningowego przełamów wielowarstwowych termistorów: a) – c) $CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$; d) $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$; e), f) $CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$



Rys. 3. a) Zależność logarytmu rezystancji *R* od odwrotności temperatury *T* dla wielowarstwowych termistorów $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$ (LSTFO), $CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$ (CTYO) i $CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$ (CTCO); b) temperaturowy współczynnik rezystancji *TWR* w zakresie temperatur 20 ÷ 820°C dla badanych termistorów (wstawka: rezystancja w funkcji temperatury w zakresie 120 ÷ 540°C); c) logarytm rezystancji w temperaturze 20 ÷ 500°C termistora LSTFO spiekanego w różnych temperaturach

Dla wytworzonych termistorów wielowarstwowych $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$, $CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$ i $CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$ wartości rezystancji poniżej założonego poziomu 2 GΩ osiągano odpowiednio powyżej 20°C, 140°C i 150°C. Korzystne zachowanie termistorowe, odpowiadające wartościom *TWR* od –9,7%/°C do –1,2%/°C, uzyskano dla $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$ w zakresie temperatur 20 ÷ 450°C. Termistory $CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$ wykazywały wysoki *TWR* od –6,9%/°C do –1,1%/°C w zakresie temperatur 140 ÷ 750°C. Wartości stałej $B_{20/120°C}$ i $B_{100/200°C}$ dla termistora $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$ wynosiły odpowiednio 3400 i 8900. Wartości stałej $B_{200/300°C}$ wynosiły 9400, 12300 i 10800, odpowiednio dla termistorów $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$, $CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$ i $CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$.

Interesujące właściwości wykazywał termistor na bazie ceramiki $CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$. W szerokim zakresie temperatur 150 ÷ 500°C jego rezystancja jest liniową funkcją temperatury (w °C) i może być opisana równaniem $R = -0{,}0139T + 11{,}253$, ze współczynnikiem korelacji $R^2 = 0{,}9997$. Wartość *TWR* tego termistora pozostaje na stałym poziomie w szerokim zakresie temperatur, zmieniając się nieznacznie od –3,3%/°C do –3,2%/°C w zakresie temperatur 150 ÷ 500°C. W wyższych temperaturach (500 ÷ 700°C) zależność rezystancja-temperatura wielowarstwowego termistora $CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$ jest bardziej złożona, z maksimum na krzywej $TWR = f(T)$ dla 650°C (rys. 3b) i nie jest odpowiednia do zastosowań termistorowych.

Z rys. 3a wynika, że rezystancje termistorów $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$ i $CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$ bardzo dobrze spełniają prawo Arrheniusa w szerokim zakresie temperatur. Obliczone energie aktywacji wynoszą 0,77 eV w zakresie temperatur 20 ÷ 480°C i 1,12 eV w zakresie temperatur 140 ÷ 820°C odpowiednio dla $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$ i $CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$. Dla termistora $CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$ wykres Arrheniusa złożony jest z kilku liniowych odcinków, którym odpowiadają energie aktywacji 0,62 eV w zakresie 150 ÷ 250°C, 0,99 eV w zakresie 250 ÷ 400°C i 1,59 eV w zakresie 400 ÷700°C. Przewodnictwo elektryczne badanych materiałów jest wynikiem złożonego współdziałania różnego typu defektów (wakancje tlenowe, wakancje kationowe, kationy na różnym stopniu utlenienia) obecnych w tego typu związkach, których koncentracja jest silnie zależna od temperatury.

Rysunek 3c przedstawia zależności temperaturowe rezystancji w zakresie 20 ÷ 500°C dla termistorów na bazie $La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$, spiekanych w różnych temperaturach – 1250°C, 1300°C i 1350°C. Wpływ temperatury spiekania nie jest znaczący, przy czym wartości rezystancji zmniejszają się ze wzrostem temperatury spiekania.

W oparciu o wyniki przeprowadzonych badań stwierdzono, że średnie zmiany rezystancji wytworzonych wielowarstwowych termistorów po procesie starzenia w temperaturze 300 ÷ 400°C przez 100 – 500 h były niewielkie, na poziomie 0,5 ÷ 1% podczas powtórnego pomiaru rezystancji w szerokim zakresie temperatur. Właściwości wytworzonych wielowarstwowych termistorów perowskitowych zebrano w tab. 1.

Tabela 1. Właściwości wielowarstwowych termistorów perowskitowych

Skład	Temp. spiekania [°C]	Zakres rezystancji [Ω]	Energia aktywacji przewodnictwa elektrycznego [eV]	*TWR* [%/°C]	$B_{200/300°C}$ [K]	Średnia zmiana rezystancji po starzeniu [%]
$La_{0,8}Sr_{0,2}Ti_{0,4}Fe_{0,6}O_3$	1250	700 M – 1 (20÷700°C)	0,77 (20÷480°C)	–9,7÷ –1,2 (20÷450°C)	9400	0,8 (100÷500°C)
$CaTi_{0,9}Y_{0,1}O_3$	1350	1,6 G – 6 (140÷820°C)	1,12 (140÷820°C)	–6.9÷ –1,1 (140÷750°C)	12300	0,5 (200÷700°C)
$CaTi_{0,8}Co_{0,2}O_3$	1250	1,6 G – 100 (150÷700°C)	0,62 (150÷ 250°C) 0,99 (250÷400°C) 1,59 (400÷700°C)	–3,3÷ –3,2 (150÷500°C)	10800	1,0 (150÷500°C)

Najważniejszym osiągnięciem było opracowanie nowych składów, otrzymanie metodą odlewania folii ceramicznych i ich wykorzystanie do wytworzenia wielowarstwowych termistorów o wysokim ujemnym temperaturowym współczynniku rezystancji, dobrej stabilności i poszerzonym do wyższych temperatur zakresie zastosowań. Wykorzystanie technologii LTCC stworzyło możliwość dostosowania rezystancji i zakresu temperatur pracy do wymaganych zakresów dzięki zmianie liczby i grubości połączonych równolegle warstw termistorowych.

Otrzymane wielowarstwowe termistory są interesującą alternatywą dla konwencjonalnych płytkowych termistorów o strukturze spinelu, szczególnie do zastosowań, w których wymagana jest temperatura przekraczająca 150°C.

Zadanie D2. Bazowe procesy i materiały drukowanej elektroniki polimerowej (Etap II)

Kierownik zadania: dr inż. Piotr Guzdek

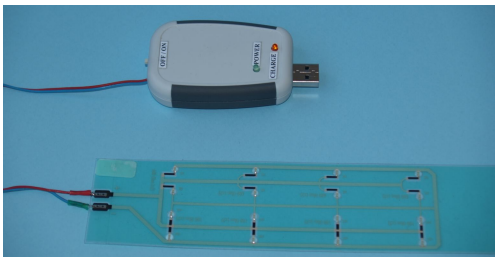
Celem zadania było zbadanie możliwości technologicznych wykonania wybranych wielowarstwowych elementów demonstratorów przy użyciu technologii elektroniki drukowanej. Ważnym zadaniem było określenie możliwości montażu na podłożach elastycznych standardowych elementów elektronicznych.

Organiczna i drukowana elektronika jest technologią opierającą się na nowych i tanich materiałach oraz procesach technologicznych realizowanych na dużych powierzchniach. Elektronika ta otwiera nowe obszary zastosowań. Często używane określenia elektronika drukowana, plastykowa, elastyczna, drukowana organiczna, wielkoobszarowa oznaczają w zasadzie to samo – elektronikę poza jej klasyczną postacią, bazującą na niekonwencjonalnych materiałach.

Po wstępnym okresie poszukiwań, prób technologicznych, przechodzeniu z fazy laboratoryjnej do skali przemysłowej, już dziś można zdefiniować pięć głównych kierunków zastosowań drukowanej elektroniki organicznej. Są to: technika oświetleniowa (zarówno OLED-y, jak i elektrochemiczne źródła światła), fotowoltaika organiczna, elastyczne wyświetlacze, układy elektroniczne i podzespoły (w tym czujniki, elementy bierne, baterie, RFID, pamięci, elementy aktywne i in.), zintegrowane inteligentne systemy (w tym inteligentne obiekty, czujniki i inteligentne tkaniny).

Opaska sygnalizacyjna dla pieszych wykorzystująca diody LED lub OLED

Zaprojektowano i wykonano demonstrator (rys. 4), którego zadaniem jest zwiększenie widoczności pieszych na drogach, co zwiększy bezpieczeństwo i ograniczy liczbę wypadków z ich udziałem.

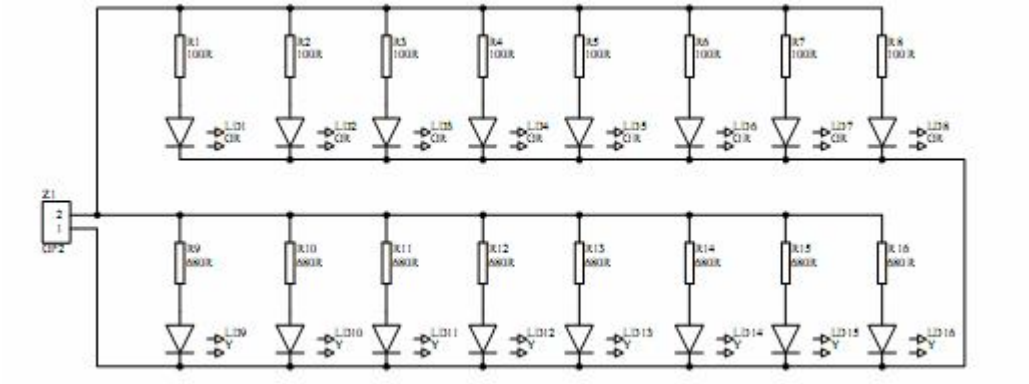


Rys. 4. Widok demonstratora

Kodeks drogowy wymaga, aby piesi poruszający się poza terenem zabudowanym w warunkach złej widoczności (noc, mgła, opady atmosferyczne) byli wyposażeni w opaski odblaskowe lub świecące, pozwalające na ich łatwą lokalizację przez kierowców pojazdów mechanicznych poruszających się po drogach publicznych. Z dostępnych danych wynika, że w warunkach normalnej widoczności najlepiej widzialne jest światło zielone (długość fali 520 nm). Przy zamgleniach optymalne jest stosowanie światła żółtopomarańczowego (długość fali 590 nm). Światło powinno pulsować z niską częstotliwością (1 ÷ 2 Hz). Dzięki zastosowaniu takich diod można osiągnąć należyty zasięg sygnalizacji przy wykorzystaniu źródeł światła o małej mocy. Przy sterowaniu diod LED prądem 2 mA osiągnięto zasięgi:

- powyżej 100 m przy dobrej widoczności,
- powyżej 25 m przy zamgleniach.

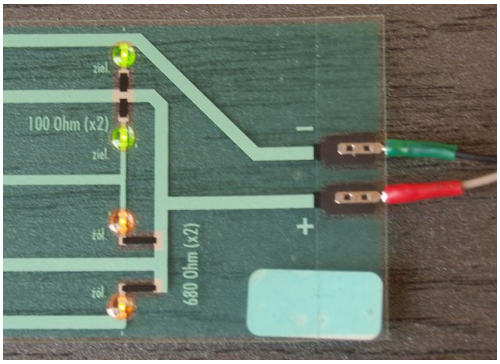
Ponieważ opaska ma być mocowana na odzieży wierzchniej, powinna być wykonana na podłożu elastycznym, które pozwala na dopasowanie się do różnych rozmiarów ubrania. W momencie wykonywania opaski nie były jeszcze dostępne elastyczne diody OLED, dlatego zastosowano miniaturowe diody LED przystosowane do montażu powierzchniowego. Ich rozmiary (obudowa typu 0603) pozwalają na wykonanie opasek bez lokalnych usztywnień, dobrze dopasowujących się do kątów opasania spotykanych w praktyce. Dane literaturowe wskazują że w ciągu 2 – 3 lat powinny być dostępne technologie pozwalające na wykonanie opaski w technologii elastycznych OLED. Rysunek 5 przedstawia schemat elektryczny elementu świecącego.



Rys. 5. Schemat elektryczny elementu świecącego

Wykonano ścieżki przewodzące metodą druku strumieniowego, jak również rezystory metodą sitodruku. Do wykonania ścieżek zastosowano atrament Nano ink AX JP-6n firmy AMEPOX.

Oporność drukowanych ścieżek przewodzących jest mniejsza niż 100 mΩ/m. Wyprowadzenia zostały zamocowane z wykorzystaniem zaciskanych końcówek. W demonstratorze wykonano także rezystory na bazie rezystywnej pasty węglowej o wartościach 100 Ω i 680 Ω.

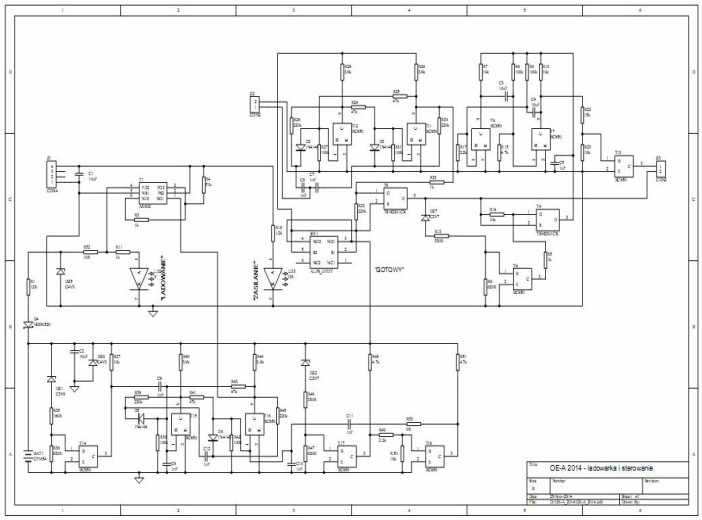


Rys. 6. Diody świecące, oporniki drukowane i wyprowadzenia

Wykonano pasty rezystywne ze spoiwem polistyrenowym zawierające jako wypełniacz przewodzący grafit koloidalny. Najpierw wykonano 50% roztwór spoiwa w rozpuszczalnikach organicznych, następnie dodano wypełniacz węglowy i całość mieszano na trójwalcarce do uzyskania jednorodnego składu. Zawartość wypełniacza węglowego w utwardzonej warstwie wynosiła 50%. Następnie na powierzchni folii podłożowej z wykonanymi wcześniej ścieżkami przewodzącymi naniesiono sitodrukiem i utwardzono warstwy rezystywne. Grubość poszczególnych warstw po utwardzeniu wynosiła ok. 20 mikronów. Widok wykonanych elementów drukowanych przedstawia rys. 6

Pozostałe podzespoły zbudowano z elementów elektronicznych dostępnych w podstawowych sieciach dystrybucyjnych. Głównym kryterium doboru podzespołów było użycie tanich, powszechnie dostępnych układów o niskim poborze energii i dużej niezawodności. Tam gdzie to było możliwe, układ wykorzystuje analogowe układy regulacyjne dopasowujące warunki pracy do aktualnych możliwości energetycznych modułów zasilających. Jako źródło energii wykorzystano litowo-polimerowe akumulatory pastylkowe o pojemności 120 mAh. Pozwala to na osiągnięcie czasu działania opaski rzędu 4 – 5 h między ładowaniami. Stosując płaskie aku-

mulatory Li-Ion o pojemności 720 mAh można osiągnąć czas pracy powyżej 20 h. Akumulatory są ładowane poprzez standardowe złącze USB. Ponieważ system może wykorzystywać również autonomiczne źródła zasilania (np. elastyczne moduły fotowoltaiczne wykonywane w technologii OPV), zasadniczą rolę przy kontrolowaniu pracy demonstratora odgrywa możliwość natychmiastowego określenia jego chwilowego bilansu energetycznego. Realizują to układy monitorujące, na bieżąco kontrolujące stan akumulatorów. Moduł sterujący został wykonany z tranzystorów, bez użycia układów scalonych. Powinno to pozwolić na wykonanie go w technologii drukowanej po upowszechnieniu się technologii druku tranzystorów. Zgodnie z informacjami prasowymi (CSEM-Szwajcaria, Fraunhofer Institut – Niemcy) może to nastąpić w ciągu 2 – 3 lat. Moduły produkowane w tej technologii powinny mieć ceny konkurencyjne wobec modułów odblaskowych. Rysunek 7 przedstawia schemat elektryczny demonstratora.



Rys. 7. Schemat elektryczny bloku sterowania i zasilania demonstratora

Zaprojektowano i wykonano demonstrator zawierający elementy elektroniczne wykonane w technologii elektroniki drukowanej na podłożu elastycznym. Wykonano metodą druku strumieniowego ścieżki przewodzące i rezystory o odpowiednich rezystancjach.

Zadanie D3. Rozwój zaawansowanych metod charakteryzacji strukturalno--elektrycznych oraz nanotechnologii FIB dla wbudowywania w struktury LTCC nano- i makroobiektów o zaprogramowanych właściwościach (Etap II)

Kierownik zadania: mgr inż. Beata Synkiewicz

Postęp w technologiach mikro- i nanoelektronicznych jest bezpośrednio związany z osiągnięciami w dziedzinie inżynierii materiałowej. Wiele badanych obecnie materiałów funkcjonalnych umożliwia opracowanie nowych, innowacyjnych kom-

ponentów i urządzeń, wrażliwych na zmiany parametrów otoczenia, takich jak temperatura, ciśnienie, pola elektryczne, pola magnetyczne itp. Jedną z grup materiałów funkcjonalnych, cieszących się obecnie dużym zainteresowaniem naukowców, są materiały będące połączeniem materiałów ferromagnetycznych i ferroelektrycznych. Kompozyty te tworzą nową klasę materiałów funkcjonalnych nazwanych magnetoelektrykami.

W ramach zadania przeprowadzono prace mające na celu dopasowanie technik charakteryzacyjnych dla potrzeb badań mikrostruktury materiałów kompozytowych wytwarzanych w Zakładzie Mikroelektroniki. Badane były ceramiczne kompozyty magnetoelektryczne oraz kompozyty polimerowo-metaliczne. Kompozyty ceramiczne wykonano w postaci mieszaniny proszków ceramicznych, mieszaniny proszków metalicznych z polimerem, a także w postaci pakietu naprzemiennie ułożonych ceramicznych warstw ferroelektrycznych i magnetycznych.

Ceramiczny kompozyt proszkowy

Opracowano technologie wytwarzania składników kompozytów magnetoelektrycznych: ferrytu $Ni_{0,3}Zn_{0,62}Cu_{0,08}Fe_2O_4$ oraz relaksora $Pb(Fe_{1/2}Ta_{1/2})O_3$.

Syntezę składników ceramicznych przeprowadzono na drodze reakcji tlenków w fazie stałej. Wyjściowe tlenki o dużej czystości naważono w proporcjach stechiometrycznych i następnie mielono je w młynku kulowym przez 8 h. Z otrzymanej mieszaniny proszków wykonano kształtki w formie pastylek i poddano je kalcynacji w temperaturze 900°C przez 4 h. Produkty syntezy ponownie mielono przez 7 h, suszono, mieszano z wodnym roztworem alkoholu poliwinylowego i granulowano w celu uzyskania próbki o jednorodnej gęstości. Następnie prasowano kształtki i spiekano je w zakresie temperatur 900 ÷ 1050 °C przez 5 h.

Kompozyt metaliczno-polimerowy

Kompozyty ferroeletryk (PVDF) - związek międzymetaliczny wykonywano mieszając rozpuszczony piezopolimer (PVDF) z proszkiem międzymetalicznym. Komercyjny PVDF (polifluorek winylydenu) o gęstości 1,77 g/cm^3 pocięto na drobne kawałki, odtłuszczono w acetonie oraz wypłukano w myjce ultradźwiękowej i odważono na wadze analitycznej. Oczyszczone płytki PVDF przeniesiono do uprzednio osuszonej zlewki i dodano rozpuszczalnik. Całość wstawiono do pieca oporowego. Proces rozpuszczania prowadzono w temperaturze 100˚C przez ok. 3 h do całkowitego rozpuszczenia PVDF. W dalszym etapie zlewkę przetrzymywano w tej temperaturze w celu odparowania rozpuszczalnika. Po osiągnięciu przez PVDF konsystencji gęstego przeźroczystego zolu, rozpoczęto dodawanie wytworzonych składników nieorganicznych w postaci proszków. W celu zapobiegnięcia sedymentacji proszki dodawano małymi porcjami i energicznie mieszano z zolem PVDF. Tak przygotowane preparaty wylewano do naczynek wagowych w kształcie walca. Kolejnym krokiem było suszenie preparatów w temperaturze pokojowej przez 2 doby. Z otrzymanych kompozytów wycinano kształtki w formie pastylek,

które następnie szlifowano w celu uzyskania płasko-równoległych powierzchni próbki.

Warstwowy kompozyt ceramiczny

Opracowano technologię wytwarzania składników warstwowego kompozytu magnetoelektrycznego $Ni_{0,3}Zn_{0,62}Cu_{0,08}Fe_2O_4$ - $Pb(Fe_{1/2}Ta_{1/2})O_3$. Z wcześniej otrzymanych materiałów ceramicznych i metalicznych wykonano folie. Opracowano składy gęstw (mas lejnych) przeznaczonych do odlewania folii ferrytowych oraz folii metalicznych. Gęstwy sporządzono przez zmieszanie w młynku kulowym składników nieorganicznych z dodatkami organicznymi. W skład części organicznej gęstw wchodziły: poliwinylobutyral jako spoiwo, olej rybi jako dyspersant, glikol polietylenowy i ftalan dwubutylu jako plastyfikatory, toluen i izopropanol jako rozpuszczalniki.

Odlewanie folii przeprowadzono przy użyciu urządzenia firmy R. Mistler TTC-1200 stosując zastawkę szerokości 10 cm. Folie wylewano na taśmę nośną z poliestrowej folii pokrytej silikonem, a następnie suszono w temperaturze 40°C. Dobierano szerokość szczeliny w zastawce tak, aby uzyskać grubość surowej folii ok. 130 ÷ 200 μm. Otrzymane folie charakteryzują się bardzo dobrą zwartością, gładkością, jednolitą grubością, brakiem pęcherzy i wytrąceń oraz dobrą elastycznością. Z tych folii wykonano warstwowe kompozyty składające się z naprzemiennie ułożonych warstw ferrytu oraz relaksora $Pb(Fe_{1/2}Ta_{1/2})O_3$. Otrzymane stosy poddano laminowaniu w temperaturze pokojowej pod ciśnieniem 15 MPa. Następnie kompozyty ceramiczne ferroeletryk - ferryt poddawano współspiekaniu w temperaturze 1000 °C przez 4 h.

3.2. Projekt B. Nanoelektronika heterogenicznych mikrosystemów oraz krzemowych przyrządów dla zastosowań interdyscyplinarnych

Zadanie B2. Integracja konstrukcji i technologii mikrosystemów z układami elektroniki odczytu i sterowania dla potrzeb inteligentnych sieci sensorowych oraz Internetu obiektów (IoT)

Kierownik zadania: dr inż. Piotr Grabiec

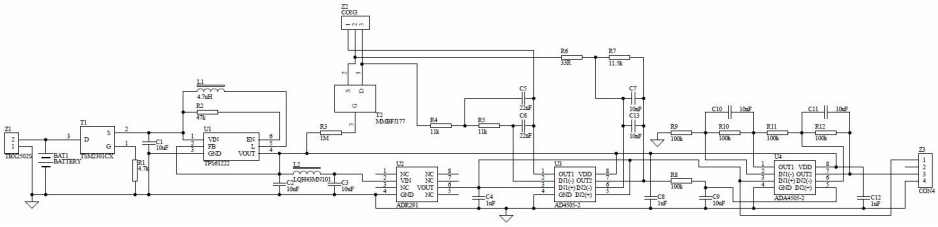
Celem zadania było opracowanie rozproszonego systemu monitorowania poziomu gazów w pomieszczeniach. Założono, że system ma pracować w oparciu o zasilanie pasożytnicze, tj. pozyskiwanie energii ze środowiska. Z uwagi na zainteresowanie ze strony firmy EUROCENTRUM wykrywaniem w budynkach tlenku węgla system zrealizowano w oparciu o czujniki tlenku węgla.

Jako element detekcyjny zastosowano amperometryczny czujnik tlenku węgla typu CO-AX produkcji firmy Alphasense. Jego zaletą jest możliwość pracy w temperaturze pokojowej (bez konieczności podgrzewania), co pozwala na znaczące ograniczenie poboru mocy urządzenia. Prąd wyjściowy czujnika jest proporcjo-

nalny do stężenia CO, a czułość wynosi 100 nA/ppm. System może również współpracować z innymi elektrochemicznymi czujnikami gazów tego samego producenta (NO, NO_2, H_2S, Cl_2).

Czujnik przewodowy z obsługą protokołu TCP/IP

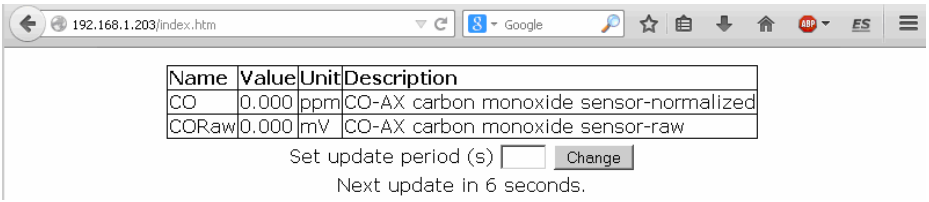
Opracowano przewodowy czujnik CO z zasilaniem zewnętrznym, komunikujący się przez sieć Ethernet z zastosowaniem protokołu IP. W rozwiązaniu zastosowano płytkę czujnika wraz z potencjostatycznym układem odczytującym (rys. 8), zamontowaną na płytce mikrokontrolera Arduino Uno wraz z interfejsem Ethernet (rys. 9). Układ oparty jest na nocie aplikacyjnej CN0234 firmy Analog Devices. Zamontowana dodatkowo na płytce przetwornica step-up TPS61222 umożliwia zastosowanie baterii pierwotnej 3,7 V/2400 mAh w charakterze źródła zasilania awaryjnego, co umożliwia pracę bez zasilania przez ok. 24 h.



Rys. 8. Schemat układu potencjostatycznego

Rys. 9. Zmontowane urządzenie

Oprogramowanie urządzenia implementuje serwer HTTP, który umożliwia odczyt mierzonych wartości za pomocą standardowej przeglądarki WWW (rys. 10). Ponadto urządzenie zwraca wyniki pomiarów w formacie JSON (rys. 11) dla potrzeb automatycznych systemów akwizycji danych.

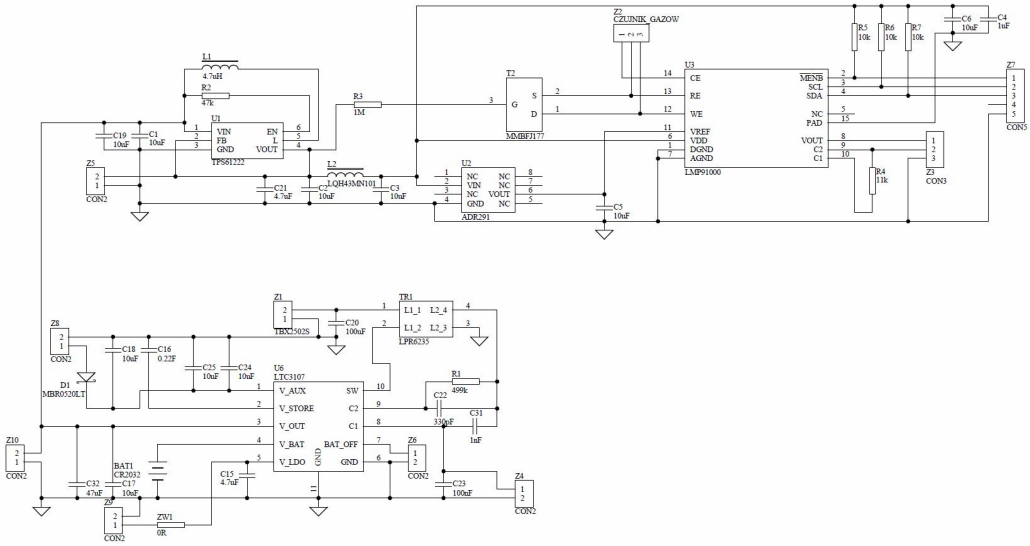


Rys. 10. Interfejs WWW urządzenia

Rys. 11. Przykład komunikacji z urządzeniem przy użyciu REST API

Czujnik bezprzewodowy z zasilaniem autonomicznym

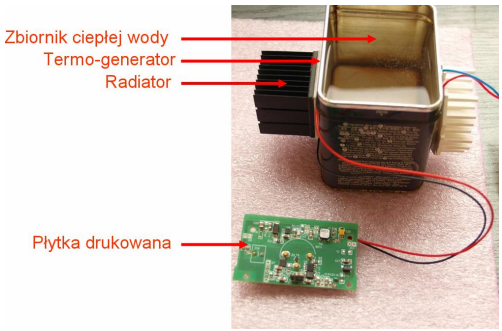
Bezprzewodowy wariant systemu z zasilaniem autonomicznym przedstawiono na rys. 12. Urządzenie zamontowane w obudowie jest złożone z dwóch płytek drukowanych. Na jednej z płytek zamontowany jest radiomodem Telit LE50 wraz z anteną, pracujący w paśmie 433 MHz. Modem komunikuje się z komputerem typu Raspberry Pi, który jest podłączony do sieci internetowej złączem Ethernet. Na drugiej płytce umieszczony jest układ zasilania wraz z układem odczytu czujnika.



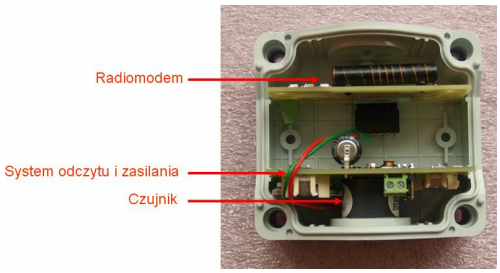
Rys. 12. Schemat układu odczytu czujnika wraz z systemem zasilania

System zasilania jest oparty na przetwornicy DC/DC typu LTC3107 o napięciu wyjściowym 3,3 V. Przetwornica ta ładuje superkondensator C16 o pojemności 0,22 F. Główne źródło energii stanowi generator termoelektryczny typu MARLOW TG12-4, podłączony do wejścia Z1. Minimalna różnica temperatur pomiędzy stronami termogeneratora, przy której urządzenie działa prawidłowo, wynosi 15K – w takiej sytuacji moc użyteczna wynosi ok. 100 mW, co odpowiada wydajności ok. 7 mW/K. Nominalna moc (10 mW/K) jest osiągana przy różnicy temperatur wynoszącej 60 K. W zastosowaniach praktycznych przewiduje się montaż termogeneratora na obudowie pieca lub grzejnika, co zapewni odpowiednią różnicę temperatur dla prawidłowego działania urządzenia. Dodatkowe źródło zasilania może stanowić panel fotowoltaiczny podłączany do wejścia Z8. Jako zapasowe źródło energii zastosowano baterię CR2032 o pojemności 280 mAh.

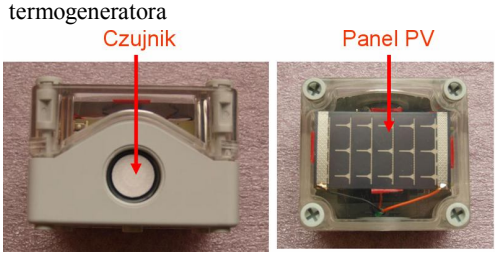
Potencjostatyczny układ odczytu czujnika został zrealizowany za pomocą układu scalonego LMP91000 firmy Texas Instruments. Napięcie wyjściowe, odpowiadające monitorowanemu stężeniu CO, wyprowadzone jest na gniazdo Z3, podłączone do wejścia przetwornika A/C radiomodemu Telit LE50. Pobór mocy układu LMP91000 wynosi 10 µA w stanie aktywnym i 0,6 µA w stanie uśpienia.



Rys. 13. Testowa konfiguracja systemu zasilania z termogeneratorem



Rys. 14. Zmontowane urządzenie bez podłączonego termogeneratora



Rys. 1.5 Zmontowane urządzenie bez podłączonego termogeneratora, z zamontowanym panelem PV

Ponieważ układ wymaga zasilania napięciem 5 V, zastosowano przetwornicę step-up typu ADS61222.

Pobór prądu radiomodemu Telit LE50 wynosi w stanie aktywnym (odbiór) 26 mA, podczas nadawania – 33 mA, a w stanie uśpienia – 3 µA. Jednocześnie prąd wyjściowy generatora wynosi 100 mW/3,3V = = 30 mA (przy różnicy temperatur wynoszącej 15 K). Oznacza to, że zastosowany system zasilania jest w stanie zapewnić nieprzerwaną pracę czujnika pod warunkiem obecności w instalacji grzewczej ciepłej wody. Opracowane rozwiązanie nadaje się do bezobsługowego monitorowania domowych piecyków i kotłów gazowych.

Widok zmontowanej płytki jest przedstawiony na rys. 13, a widok całego urządzenia w obudowie na rys. 14. Zmontowaną obudowę wraz z panelem fotowoltaicznym pokazano na rys. 15. Urządzenie zostało zademonstrowane na targach electronica2014 (Monachium, 11–14.11.2014).

W ramach zadania wykonano czujnik gazów z zasilaniem przewodowym podłączany do sieci Ethernet oraz czujnik gazów z zasilaniem autonomicznym i radiową transmisją danych.

4. Modele, prototypy, wdrożenia

Modele

- Moduł potencjostatu do współpracy z elektrochemicznymi czujnikami gazowymi
- Elastyczna opaska świecąca dla pieszych poruszających się po drogach publicznych
- Prostowniki przeznaczone do pozyskiwania mocy elektrycznej generowanej podczas ruchu człowieka przy pomocy modułów piezoelektrycznych wykorzystujących folie PVDF
- Rodzina termogeneratorów TEG-MI-4

- Ceramiczna folia termistorowa T3
- Ceramiczna folia termistorowa T4

Prototypy

- Moduł potencjostatu z zasilaniem autonomicznym do współpracy z czujnikami gazowymi (bezprzewodowa transmisja danych)
- Moduł zasilacza czujników gazowych (w szczególności tlenku węgla), przeznaczony do współpracy z inteligentnymi miernikami mocy "Smart Meters" (zasilanie z TEG, bezprzewodowy interfejs M-Bus)
- Moduł pomiaru temperatur i nadzoru eksperymentu
- Kontroler ładowania akumulatora przeznaczony do współpracy z generatorami TEG
- Demonstrator systemu zasilania bezprzerwowego
- Generator termoelektryczny do wspomagania autonomicznych instalacji PV
- Kontroler ładowania RSS-18 przeznaczony do autonomicznych systemów fotowoltaicznych współpracujących z akumulatorami $LiFePO_4$
- Kontroler rozładowania RSS-19 przeznaczony do autonomicznych systemów fotowoltaicznych współpracujących z akumulatorami $LiFePO_4$ oraz ołowiowymi

Wdrożenie

- Grzejnik foliowy GB6S

5. Współpraca międzynarodowa

Zakład aktywnie uczestniczy w działalności Stowarzyszenia Elektroniki Organicznej (Organic and Printed Electronics Association OEA). Pracownicy Zakładu biorą udział w kwartalnych spotkaniach Stowarzyszenia oraz w pracach grup roboczych ds. hermetyzacji organicznych elementów półprzewodnikowych i opracowywania demonstratora wykorzystującego elementy organicznej elektroniki drukowanej.

W ramach programu UE Maria Curie realizowany jest projekt SENSEIVER, koordynowany przez Uniwersytet w Nowym Sadzie (Serbia). Zakład współpracuje z partnerami z Serbii, Austrii, Portugalii, Niemiec, Rumunii i Polski.

W 2014 r. podjęto współpracę z firmami z Węgier i Estonii w zakresie opracowania czujników pH.

6. Działalność edukacyjna

Pracownicy naukowi zakładu prowadzili dla studentów Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie zajęcia laboratoryjne w zakresie technologii warstw grubych, tech-

nologii montażu powierzchniowego, systemów fotowoltaicznych, technologii LTCC. Dla studentów Akademii Górniczo-Hutniczej, Politechniki Wrocławskiej, Politechniki Śląskiej, Politechniki Krakowskiej, Politechniki Warszawskiej były prowadzone praktyki wakacyjne oraz praktyki dyplomowe. Konsultowano i prowadzono prace dyplomowe magisterskie i prace inżynierskie w zakresie materiałów magnetoelektrycznych i technik wytwarzania pól magnetycznych.

Publikacje'2014

[P1] BOCHENEK D., NIEMIEC P., ZACHARIASZ P., GUZDEK P., CHROBAK A., ZIÓŁKOWSKI G.: Ferroelectric and Ferromagnetic Properties of the $_{(1-x)}NiZnFeO_{4-(x)}Pb(Fe_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ Composite. *Inż. Mater.* 2014 vol. **XXXV** nr 2 s. 86–91.

[P2] CIECIŃSKA M., STOCH P., STOCH A.: Thermal Properties of Vitrified LLW Hospital Waste Incineration Ash. *J. of Thermal Anal. a. Calorim.* 2014 vol. **116** nr 1 s. 35–39.

[P3] CVEJIN K., MANJAKKAL L., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Characterization and Applicability of $Sm_{0,9}Sr_{0,1}CoO_{3-\delta}$ in Oxygen Sensors. *Microelectron. Int.* 2014 vol. **31** nr 3 s. 154-157.

[P4] CVEJIN K., MANJAKKAL L., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Synthesis of Perovskite Sr Doped Lanthanide Cobaltites and Ferriters and Application for Oxygen Sensors: a Comparative Study. *Key Eng. Mater.* 2014 vol. **605** s. 483–486.

[P5] CVEJIN K., MANJAKKAL L., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Characterization of Strontium Modified Lanthanide Cobaltites and Ferrites as Perovskite Electrodes in Potentiometric Oxygen Sensors. *Sensor Lett.* 2014 vol. **12** nr 11 s. 1664–1668.

[P6] CVEJIN K., MANJAKKAL L., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Study on the Impedancemetric NO Sensor Fabricated in Thick Film Technology. Proc. of the IMAPS/ACerS 10th Int. Conf. a. Exh. on Ceramic Interconnect a. Ceramic Microsystems Technologies. Osaka, Japonia, 14–16.04.2014 (złoż. do red.).

[P7] CVEJIN K., MANJAKKAL L., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Planar Impedancemetric NO Sensor with Thick Film Mixed Dy-Based Oxides Sensing Electrodes. Proc. of the 8th Int. Conf. a. Exp. on Electrical a. Power Engineering. Iasi, Rumunia, 16–18.10.2014, s. 821–824.

[P8] CZERWIŃSKI A., SKWAREK A., PŁUSKA M., RATAJCZAK J., WITEK K.: Whisker Growth in Tin Alloys on Glass-Epoxy Laminate. *SMT Surf. Mount Technol. Mag.* 2014 vol. **29** nr 7 s. 30–39.

[P9] DRABCZYK K., SOCHA R. P., SKWAREK A.: Copper Deposition on Screen Printed Electrical Paths for Solar Cell Application - the Surface Studies. Proc. of the 38th Int. Conf. of IMAPS-CPMT Poland. Rzeszów-Czarna, 21–24.09.2014, s. 1–4.

[P10] GRZESIAK W., MAĆKÓW P., MAJ T., ZAWORA S., GRZESIAK P.: Demonstrator kontrolera procesu ładowania akumulatora bazującego na technologii $LiFePO_4$ dedykowanego dla autonomicznych instalacji fotowoltaicznych. *Prz. Elektrotech.* 2014 vol. **90** nr 9 s. 29–32.

[P11] GRZESIAK W., MAĆKÓW P., MAJ T., ZAWORA S., GRZESIAK P.: Demonstrator kontrolera procesu ładowania akumulatora bazującego na technologii $LiFePO_4$ dedykowanego dla autonomicznych instalacji fotowoltaicznych. Mat. konf. XIII Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 9–13.06.2014, s. 129–134.

[P12] GRZESIAK W., MAĆKÓW P., SYNKIEWICZ B., ZAWORA S., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., GRZESIAK P.: The Use of $LiFePO_4$ Technology in Autonomous PV Systems. Proc. of the 38th Int. Conf. of IMAPS-CPMT Poland. Rzeszów-Czarna, 21–24.09.2014, s. 1–4.

[P13] GRZESIAK W., MAĆKÓW P., SYNKIEWICZ B., ZAWORA S., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., GRZESIAK P.: The Use of $LiFePO_4$ Technology in Autonomous PV Systems. *Microelectron. Int.* (zgł. do red.).

[P14] GRZESIAK W., MAJ T., MAĆKÓW P., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., ZAWORA S., GRZESIAK P.: New Solutions for the Solar Charge Controllers Design for Obtaining True MPP in Partly Shaded PV Modules. Proc. of the 29th Europ. Photovoltaic Solar Energy Conf. a. Exh. Amsterdam, Holandia, 22–26.09.2014, s. 3016–3019.

[P15] GRZESIAK W., MAJ T., MAĆKÓW P., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., ZAWORA S., GRZESIAK P.: An Intelligent System to Support the Design Process of Hybrid Photovoltaic Installations. Proc. of the 29th Europ. Photovoltaic Solar Energy Conf. a. Exh. Amsterdam, Holandia, 22–26.09.2014, s. 3020–3023.

[P16] GRZESIAK W., PIEKARSKI J., WITEK K., GRZESIAK P.: Zastosowanie ciepłowodów do zwiększenia wydajności generatorów termoeletrycznych. *Elektronika* 2014 vol. **LV** nr 9 s. 55–57.

[P17] GRZESIAK W., PIEKARSKI J., WITEK K., GRZESIAK P.: Zastosowanie ciepłowodów do zwiększenia wydajności generatorów termoeletrycznych. Mat. konf. XIII Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 9–13.06.2014, s. 135–140.

[P18] GRZESIAK W., WITEK K., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., GRZESIAK P.: An Interactive System for Remote Modeling and Design Validation of Hybrid Photovoltaic Systems. *Microelectron. Int.* 2014 vol. **31** nr 3 s. 224–228.

[P19] GRZESIAK W., ŻUPNIK M.: Analiza możliwości i zasadności zastosowania technologii SSL LED w procesie doświetlania upraw trawy pszenicznej. *Prace Inst. Elektrotech.* 2014 nr 267 s. 87–94.

[P20] GRZESIAK W., ŻUPNIK M.: Analiza możliwości i zasadności zastosowania technologii SSL LED w procesie doświetlania upraw trawy pszenicznej. Mat. konf. VI Konf. "Promieniowanie optyczne, oddziaływanie, metrologia, technologie". Baranów Sandomierski, 28–30.05.2014, s. 253–261.

[P21] GRZESIAK W., ŻUPNIK M., WOJCIECHOWSKA R.: Praktyczna realizacja wielostanowiskowego programowalnego systemu doświetlania roślin zbudowanego w oparciu o technologie SSL LED. *Prace Inst. Elektrotech.* 2014 nr 267 s. 97–107.

[P22] GRZESIAK W., ŻUPNIK M., WOJCIECHOWSKA R.: Praktyczna realizacja wielostanowiskowego programowalnego systemu doświetlania roślin zbudowanego w oparciu o technologie SSL LED. Mat. konf. VI Konf. "Promieniowanie optyczne, oddziaływanie, metrologia, technologie". Baranów Sandomierski, 28–30.05.2014, s. 263–276.

[P23] GUZDEK P.: Characterization of Magnetic and Magnetoelectric Properties in Soft Ferrite - PFT-PT Bulk Composite. *Powder Metall. a. Met. Ceram.* 2014 vol. **53** nr 3–4 s. 225–229.

[P24] GUZDEK P.: The Magnetostrictive and Magnetoelectric Characterization of $Ni_{0.3}Zn_{0.62}Cu_{0.08}Fe_2O_4$-$Pb(FeNb)_{0.5}$ Laminated Composite. *J. Magnet. a. Magn. Mater.* 2014 vol. **349** s. 219–223.

[P25] GUZDEK P., SIKORA M., GÓRA Ł., KAPUSTA C.: The Magnetoelectric Effect of a $Ni_{0.3}Zn_{0.62}Cu_{0.08}Fe_2O_4$-$Pb(FeNb)_{0.5}Nb_{0.5}O_3$ Multilayer Composite. *Arch. Metall. a. Mater.* 2014 vol. **59** nr 3 s. 1011–1015.

[P26] GUZDEK P., WZOREK M.: Magnetoelectric Effect in Ferro(ferri)magnetic - Ferroelectric Structures. Proc. of the IMAPS Nordic Ann. Conf. a. Exh. Oulu, Finlandia, 9–11.06.2014, s. 107427.

[P27] GUZDEK P., WZOREK M.: Microstructure and Magnetoelectric Properties in Bulk and Layered Composites. Proc. of the 38th Int. Conf. of IMAPS-CPMT Poland. Rzeszów-Czarna, 21–24.09.2014, s. 1–4.

[P28] KLIMIEC E., KRÓLIKOWSKI B., MACHNIK M., ZARASKA W., DZWONKOWSKI J.: Increase of Piezoelectric Constant and Thermal Durability of Polypropylene Elecret by Introducing SiO_2 and Kaolin Filler and Creating a Cellular Structure. *J. Electron. Mater.* (złoż. do red.).

[P29] KLIMIEC E., KRÓLIKOWSKI B., MACHNIK M., ZARASKA W., DZWONKOWSKI J.: Effects of Crystalline Phase and Aluminosilicate Filler on Piezoelectric Properties of Polypropylene Electrets. *Polymer* (złoż. do red.).

[P30] KLIMIEC E., PIEKARSKI J., ZARASKA W., JASIEWICZ B.: Electronic Measurement System of Foot Plantar Pressure. *Microelectron. Int.* 2014 vol. **31** nr 3 s. 229–234.

[P31] KOŁTON A., WOJCIECHOWSKA R., DŁUGOSZ-GROCHOWSKA O., GRZESIAK W.: Comparison of Lamb's Lettuce Storage Ability Treated with LED Lamps and Sodium (HPS) Ones. *J. Horticult. Res.* 2014 vol. **22** nr 2 s. 159–165.

[P32] KOWAL K., JARTYCH E., GUZDEK P., LISIŃSKA-CZEKAJ A., CZEKAJ D.: Magnetoelectric Effect in $(BiFeO_3)_x$-$(BaTiO_3)_{1-x}$ Solid Solutions. *Radioeng.* (złoż. do red.).

[P33] KOWALIK P., PRUSZOWSKI Z., KULAWIK J., CZERWIŃSKI A., PŁUSKA M.: Changes in TCR of Amorphous Ni-P Resistive Films as a Function of Thermal Stabilization Parameters. *Microelectron. Int.* 2014 vol. **31** nr 3 s. 149–153.

[P34] KULAWIK J., SZWAGIERCZAK D.: Properties of Multilayer NTC Perovskite Thermistors Prepared by Tape Casting, Lamination and Cofiring. *Key Eng. Mater.* 2014 vol. **605** s. 507–510.

[P35] KULAWIK J., SZWAGIERCZAK D.: Fabrication by Tape Casting and Microstructural, Thermal and Electrical Characterization of Perovskite Thermistors. *Sensor Lett.* 2014 vol. **12** nr 11 s. 1657–1663.

[P36] KULAWIK J., SZWAGIERCZAK D., SYNKIEWICZ B.: Tape Casting and Properties of Pr_2O_3-Doped ZnO Multilayer Varistors. *Microelectron. Int.* 2014 vol. **31** nr 3 s. 163–168.

[P37] MANJAKKAL L., CVEJIN K., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D., SOCHA R. P.: Fabrication of Thick Film Sensitive RuO_2-TiO_2 and Ag/AgCl/KCl Reference Electrodes and Their Application for pH Measurements. *Sensor Actuat. B: Chem.* 2014 vol. **204** s. 57–67.

[P38] MANJAKKAL L., CVEJIN K., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: A Comparative Study of Potentiometric and Conductimetric Thick Film pH Sensors Made of RuO_2 Pastes. *Sensor Lett.* 2014 vol. **12** nr 11 s. 1645–1650.

[P39] MANJAKKAL L., CVEJIN K., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: The Effect of Sheet Resistivity and Storage Conditions on Sensitivity of RuO_2 Based pH Sensors. *Key Eng. Mater.* 2014 vol. **650** s. 457–460.

[P40] MANJAKKAL L., CVEJIN K., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Potentiometric and Conductimetric pH Sensors Based on RuO_2-TiO_2 Thick Films. Proc. of the IMAPS/ACerS 10th Int. Conf. a. Exh. on Ceramic Interconnect and Ceramic Microsystems Technologies Osaka, Japonia, 14–16.04.2014 (złoż. do red.).

[P41] MANJAKKAL L., CVEJIN K., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Electrochemical Interdigitated Conductimetric pH Sensor Based on RuO_2 Thick Film Sensitive Layer. Proc. of the 8th Int. Conf. a. Exp. on Electrical a. Power Engineering. Iasi, Rumunia, 16–18.10.2014, s. 797–800.

[P42] PIKULA T., GUZDEK P., DZIK J., LISIŃSKA-CZEKAJ A., JARTYCH E.: X-Ray Diffraction, Mössbauer Spectroscopy, and Magnetoelectric Effect Studies of Multiferroic $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ Ceramics. *Acta Phys. Pol. A* (złoż. do red.).

[P43] SKWAREK A., KULAWIK J., CZERWIŃSKI A., PŁUSKA M., WITEK K.: A Method for the Tin Pest Presence Testing in SnCu Solder Alloys. *Solder. Surf. MT Technol.* 2014 vol. **26** nr 3 s. 110–116.

[P44] STOCH P., CIECIŃSKA M., STOCH A.: Thermal Properties of Phosphate Glasses for Salt Waste Immobilization. *J. Therm. Anal. a. Calorim.* 2014 vol. **117** nr 1 s. 197–204.

[P45] STOCH P., CIECIŃSKA M., STOCH A.: Rozdział 15. Materiały do unieszkodliwiania stałych odpadów nisko- i średnioaktywnych. W: *Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi*. ICTJ, Warszawa 2014, s. 227–234.

[P46] STOCH P., STOCH A.: Mössbauer Spectroscopy Study of $60P_2O_5$-$40Fe_2O_3$ Glass Crystallization. *Acta Phys. Pol. A* (złoż. do red.).

[P47] STOCH P., STOCH A.: Structure and Properties of Cs Containing Borosilicate Glasses Studied by Molecular Dynamics Simulations. *J. Non-Crystal. Sol.* (złoż. do red.).

[P48] STOCH P., SZCZERBA W., BODNAR W., CIECIŃSKA M., STOCH A., BURKEL E.: Structural Properties of Iron-Phosphate Glasses by Spectroscopic Studies and ab initio Simulations. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2014 vol. **16** s. 19917–19927.

[P49] SYNKIEWICZ B., SKWAREK A., WITEK K.: Voids Investigation in Solder Joints Performed with Vapour Phase Soldering (VPS). *Solder. Surf. MT Technol.* 2014 vol. **26** nr 1 s. 8–11.

[P50] SYNKIEWICZ B., SKWAREK A., WITEK K.: Study of Highly Reliable Solder Joints Technologies Used for Semiconductor Thermogenerators (TEGs) Assembly. *Mater. Sci. in Semicond. Process.* (złoż. do red.).

[P51] SYNKIEWICZ B., WITEK K., SKWAREK A.: Ograniczenie zjawiska pustek w spoinach lutowniczych wykonanych metodą próżniowego lutowania kondensacyjnego. *Elektronika* 2014 vol. **LV** nr 9 s. 67–69.

[P52] SYNKIEWICZ B., WITEK K., SKWAREK A.: Ograniczenie zjawiska pustek w spoinach lutowniczych wykonanych metodą próżniowego lutowania kondensacyjnego. Mat. konf. XIII Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 9–13.06.2014, s. 30–35.

[P53] SZKLARSKA-ŁUKASIK M., GUZDEK P., CHMIST J., STOCH P., PSZCZOŁA J.: Electrical and Magnetic Properties, and FLAPW Electronic Band Structure of Magnetostrictive $Tb_{0,2}7Dy_{0.73}(Fe_{0.7-x}Ni_xCo_{0.3})_2$ Compounds. *Mat. Sci. Eng. B* (złoż. do red.).

[P54] SZWAGIERCZAK D.: Dielectric Properties of High-Permittivity $A_{2/3}CuTa_4O_{12}$ Ceramics. *Microelectron. Int.* 2014 vol. **31** nr 3 s. 137–142.

[P55] SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., WITEK K.: Study on Dielectric Properties of Lanthanum Copper Tantalate Ceramics by Impedance Spectroscopy. *Acta Phys. Pol. A* (złoż. do red.).

[P56] SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., WITEK K.: Study on Dielectric Properties of Lanthanum Copper Tantalate Ceramics by Impedance Spectroscopy. *Mat. Sci. Semicond. Process.* (złoż. do red.).

[P57] ŚNIEŻEK E., STOCH P., SZCZERBA J., MADEJ D., PROROK R., STOCH A.: Electrical and Structural Properties of $_{0,8}CaZrO_{3-0,2}CaFe_2O_4$ Composite. *J. Europ. Ceram. Soc.* (złoż. do red.).

[P58] WĘGRZECKI M., YAKUSHEV A., BAR J., BUDZYŃSKI T., GRABIEC P., GÓRSKA M., KŁOS H., KULAWIK J., PANAS A., PROKARYN P., SŁYSZ W., STOLARSKI M., SYNKIEWICZ B., SZMIGIEL D., WĘGRZECKA I., ZABOROWSKI M.: The New Concept of the Flow Detector of Alpha Particles - The Problems of Design and Technology. 13th Int. Sci. Conf. on Optical Sensors a. Electronic Sensors. Łódź, 22–25.06.2014, w serii *Proc. of SPIE* 2014 t. **9291** (złoż. do red.).

[P59] ZACHARIASZ P., KULAWIK J., GUZDEK P.: Preparation and Characterization of Microstructure, Dielectric and Magnetoelectric Properties of Bulk $Sr_3CuNb_2O_9$-$CoFe_2O_4$ Multiferroic Ceramics. *Mater. Sci.-Poland* (złoż. do red.).

[P60] ZACHARIASZ P., KULAWIK J., GUZDEK P., SIKORA M.: Synthesis Microstructure and Magnetoelectric Coupling of $Sr_3CuNb_2O_9$-$CoFe_2O_4$ Multiferroic Composite. Proc. of the 38th Int. Conf. of IMAPS-CPMT Poland. Rzeszów-Czarna, 21–24.09.2014 (złoż. do red.).

[P61] ZAWADZKA M., KULAWIK J., SZWAGIERCZAK D., ZARASKA K.: In situ Polymerised Polypyrrrole Films for Sensors Application. *Microelectron. Int.* 2014 vol. **31** nr 3 s. 158–162.

Prezentacje'2014

[K1] CVEJIN K., MANJAKKAL L., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Study on the Impedancemetric NO Sensor Fabricated in Thick Film Technology. IMAPS/ACerS 10th Int. Conf. a. Exh. on Ceramic Interconnect a. Ceramic Microsystems Technologies. Osaka, Japonia, 14–16.04.2014 (ref.).

[K2] CVEJIN K., MANJAKKAL L., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Preparation and Characterization of Impedancemetric NO Sensor with Thick Film Perovskite Electrodes Based on Sr Doped Samarium Cobaltite. Matrafured 2014 Int. Conf. on Electrochemical Sensors. Wyszehrad, Węgry, 15–20.06.2014 (plakat).

[K3] CVEJIN K., MANJAKKAL L., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Planar Impedancemetric NO Sensor with Thick Film Mixed Dy-Based Oxides Sensing Electrodes. 8th Int. Conf. and Exposition on Electrical a. Power Engineering. Iasi, Rumunia, 16–18.10.2014 (ref.).

[K4] DRABCZYK K., SOCHA R. P., SKWAREK A.: Copper Deposition on Screen Printed Electrical Paths for Solar Cell Application - the Surface Studies. 38th Int. Conf. of IMAPS-CPMT Poland. Rzeszów-Czarna, 21–24.09.2014 (plakat).

[K5] GRZESIAK W., MAĆKÓW P., MAJ T., ZAWORA S., GRZESIAK P.: Demonstrator kontrolera procesu ładowania akumulatora bazującego na technologii $LiFePO_4$ dedykowanego dla autonomicznych instalacji fotowoltaicznych. XIII Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 9–13.06.2014 (plakat, kom.).

[K6] GRZESIAK W., MAĆKÓW P., SYNKIEWICZ B., ZAWORA S., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., GRZESIAK P.: The Use of $LiFePO_4$ Technology in Autonomous PV Systems. 38th Int. Conf. of IMAPS-CPMT Poland. Rzeszów-Czarna, 21–24.09.2014 (plakat, kom.).

[K7] GRZESIAK W., MAJ T., MAĆKÓW P., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., ZAWORA S., GRZESIAK P.: An Intelligent System to Support the Design Process of Hybrid Photovoltaic Installations. 29th Europ. Photovoltaic Solar Energy Conf. a. Exh. Amsterdam, Holandia, 22–26.09.2014 (plakat, kom.).

[K8] GRZESIAK W., MAJ T., MAĆKÓW P., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., ZAWORA S., GRZESIAK P.: New Solutions for the Solar Charge Controllers Design for Obtaining True MPP in Partly Shaded PV Modules. 29th Europ. Photovoltaic Solar Energy Conf. a. Exh. Amsterdam, Holandia, 22–26.09.2014 (plakat, kom.).

[K9] GRZESIAK W., PIEKARSKI J., WITEK K., GRZESIAK P.: Zastosowanie ciepłowodów do zwiększenia wydajności generatorów termoeletrycznych. XIII Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 9–13.06.2014 (plakat, kom.).

[K10] GRZESIAK W., ŻUPNIK M.: Analiza możliwości i zasadności zastosowania technologii SSL LED w procesie doświetlania upraw trawy pszeniczne. VI Konf. „Promieniowanie optyczne – oddziaływanie, metrologia, technologie". Baranów Sandomierski, 28–30.05.2014 (ref.).

[K11] GRZESIAK W., ŻUPNIK M., WOJCIECHOWSKA R.: Praktyczna realizacja wielostanowiskowego programowalnego systemu doświetlania roślin zbudowanego w oparciu o technologie SSL LED. VI Konf. „Promieniowanie optyczne - oddziaływanie, metrologia, technologie". Baranów Sandomierski, 28–30.05.2014 (ref.).,

[K12] GUZDEK P., KLIMIEC E., PIEKARSKI J.: Harvesting Energy - bezbateryjne zasilanie urządzeń przenośnych. XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa MAT ECO SHOES 2014 "Innowacje, inteligentny rozwój i ekologia w przemyśle obuwniczym i skórzanym". Kraków, 20–21.11.2014 (ref.).

[K13] GUZDEK P., WZOREK M.: Magnetoelectric Effect in Ferro(ferri)magnetic - Ferroelectric Structures. IMAPS Nordic Ann. Conf. a. Exh. Oulu, Finlandia, 9–11.06.2014 (ref.).

[K14] GUZDEK P., WZOREK M.: Microstructure and Magnetoelectric Properties in Bulk and Layered Composites. 38th Int. Conf. of IMAPS-CPMT Poland. Rzeszów-Czarna, 21–24.09.2014 (ref.).

[K15] KOŁTON A., WOJCIECHOWSKA R., DŁUGOSZ-GROCHOWSKA O., GRZESIAK W.: Comparison of Lamb's Lettuce Storage Ability Treated with LED Lamps and Sodium (HPS) Ones. 3rd Int. Conf.on Effects of Pre- and Post-harvest Factors on Health Promoting Components and Quality of Horticultural Commodities. Skierniewice, 24–25.03.2014 (plakat).

[K16] MANJAKKAL L., CVEJIN K., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Potentiometric and Conductimetric pH Sensors Based on RuO_2-TiO_2 Thick Films. IMAPS/ACerS 10th Int. Conf. a. Exh. on Ceramic Interconnect a. Ceramic Microsystems Technologies. Osaka, Japonia, 14–16.04.2014 (ref.).

[K17] MANJAKKAL L., CVEJIN K., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Electrochemical Interdigitated Conductimetric pH Sensor Based on RuO_2 Thick Film Sensitive Layer. 8th Int. Conf. a. Exp. on Electrical a. Power Engineering. Iasi, Rumunia, 16–18.10,2014 (ref.).

[K18] MANJAKKAL L., CVEJIN K., KULAWIK J., ZARASKA K., SZWAGIERCZAK D.: Fabrication of Low Cost Electrochemical pH Sensors Based on Ta_2O_5 Thick Films. Matrafured 2014 Int. Conf. on Electrochemical Sensors. Wyszehrad, Węgry, 15–20.06.2014 (plakat).

[K19] PIKULA T., GUZDEK P., DZIK J., LISIŃSKA-CZEKAJ A., JARTYCH E.: X-Ray Diffraction, Mössbauer Spectroscopy, and Magnetoelectric Effect Studies of Multiferroic $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ Ceramics. The Europ. Conf. Physics of Magnetism 2014. Poznań, 23–27.06.2014 (plakat).

[K20] STOCH P., CIECIŃSKA M., BŁACHOWSKI A., RUEBENBAUER K., STOCH A.: Mechanizm wiązania cezu w szkłach fosforanowych dla immobilizacji odpadów radioaktywnych. X Ogólnopol. Sem. Spektroskopii Mossbauerowskiej. Wrocław, 15–18.05.2014 (ref.).

[K21] STOCKHOLM J., WOJCIECHOWSKI K., LESZCZYŃSKI J., WITEK K., GUZDEK P., KULAWIK J.: Thermoelectric Generator with an Active Load. 12th Europ. Conf. on Thermoelectrics. Madryt, Hiszpania, 24–26.09.2014 (plakat).

[K22] SYNKIEWICZ B., WITEK K., SKWAREK A.: Ograniczenie zjawiska pustek w spoinach lutowniczych wykonanych metodą próżniowego lutowania kondensacyjnego. XIII Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 9–13.06.2014 (plakat).

[K23] SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., WITEK K.: Study on Dielectric Properties of Lanthanum Copper Tantalate Ceramics by Impedance Spectroscopy. 4th Int. Advances in Applied Physics a. Materials Sci. Congr. & Exh. Fethiye, Turcja, 24–27.04.2014 (plakat).

[K24] WĘGRZECKI M., YAKUSHEV A., BAR J., BUDZYŃSKI T., GRABIEC P., GÓRSKA M., KŁOS H., KULAWIK J., PANAS A., PROKARYN P., SŁYSZ W., STOLARSKI M., SYNKIEWICZ B., SZMIGIEL D., WĘGRZECKA I., ZABOROWSKI M.: Nowa koncepcja przepływowego detektora cząstek alfa - problemy konstrukcji i technologii. XIII Konf. Nauk."Czujniki Optyczne i Elektroniczne". Łódź, 22–25.06.2014 (ref.).

[K25] ZACHARIASZ P., KULAWIK J., GUZDEK P., SIKORA M.: Synthesis Microstructure and Magnetoelectric Coupling of $Sr_3CuNb_2O_9$-$CoFe_2O_4$ Multiferroic Composite. 38th Int. Conf. of IMAPS-CPMT Poland. Rzeszów-Czarna, 21–24.09.2014 (plakat).

[K26] WITEK K., SKWAREK A., SYNKIEWICZ B.: Study of High Reliable Solder Joints Technologies Used for Semiconductor Thermolectric Generators (TEGs) 4th Int. Advances in Applied Physics a. Materials Sci. Congr. & Exh. Fethiye, Turcja, 24–27.04.2014 (plakat).

Patenty'2014

[PA1] GRZESIAK W., GUZDEK P., MAĆKÓW P., PIEKARSKI J., WITEK K.: Termoelektryczny generator prądu. Zgł. pat. nr P408272 z dn. 20.05.2014.

[PA2] GRZESIAK W., GUZDEK P., KNAPIK R., MAĆKÓW P., DZIDA W., ZAWORA S.: Przenośny fotowoltaiczny generator prądu elektrycznego zintegrowany z systemem gromadzenia i zarządzania energią. Zgł. pat. nr P.410653 z dn. 19.12.2014.