



Kierownik: mgr inż. Michał CIEŻ
e-mail: mciez@ite.waw.pl
tel. (0-prefiks-12) 656 51 83, fax 656 36 26

Zespół: prof. dr hab. inż. Stanisław Nowak, mgr inż. Wojciech Grzesiak,
inż. Ryszard Knapik, dr Jan Kulawik,
dr inż. Andrzej Łukasik, mgr Tomasz Maj, mgr inż. Jerzy Początek,
mgr inż. Wojciech Politowicz, mgr Agata Skwarek,
dr inż. Dorota Szwagierczak, mgr inż. Krzysztof Witek,
mgr inż. Krzysztof Zaraska, dr inż. Wiesław Zaraska

1. Realizowane projekty badawcze

W Zakładzie Mikroelektroniki w 2005 r. realizowano następujące projekty badawcze:

- „Badanie procesów degradacyjnych w grubowarstwowych hybrydowych układach elektroniki wielkiej mocy” (projekt badawczy nr 4T11B 00825),
- „Opracowanie i uruchomienie produkcji rodziny regulatorów ładowania dla potrzeb autonomicznych systemów fotowoltaicznych” (projekt celowy nr 6T11 2003C/06241),
- „Projekt i wykonanie automatycznej stacji wykrywania, monitorowania i bezprzewodowego przekazywania informacji o zanieczyszczeniu wód i ścieków produktami ropopochodnymi” (zadanie projektu zamawianego nr PW-004/ITE/08/2005),
- “Mikroprocesorowe systemy sterowania i przetwarzania dla potrzeb alternatywnych źródeł energii oraz elektroniki medycznej” (statutowy projekt badawczy 1.06.041),
- “Synteza i charakterystyka zaawansowanych technologicznie materiałów ceramicznych oraz kompozycji polimerowych i ich aplikacje do wysoko- i niskotemperaturowych warstw grubych, sensorów oraz nieliniowych elementów rezystorowych” (statutowy projekt badawczy 1.06.042).

2. Najważniejsze osiągnięcia naukowo-badawcze

W poszukiwaniu nowych rozwiązań technologicznych w obszarze zaawansowanych materiałów dla potrzeb elektroniki i nowych procesów technologicznych, kontynuowano podjęte wcześniej prace badawcze nad syntezą i charakteryzacją

ceramicznych materiałów o strukturze perowskitów, przeznaczonych na tanie elektrody ogniów chemicznych oraz na dielektryk w kondensatorach typu II. W technologii warstw polimerowych skoncentrowano się na modyfikacji składu past polimerowych w celu osiągnięcia optymalnych parametrów warstw grzejnych przeznaczonych do szybkiego rozszarania i rozmrażania lusterek samochodowych. Zakończony został cykl prac dotyczących montażu powierzchniowego z zastosowaniem spoiw lutowniczych bezołowiowych. Technologia lutowania bezołowiowego została wdrożona w Oddziale Krakowskim ITE. Stworzona została solidna baza dla świadczenia usług montażowych, szkoleń i praktyk dla studentów oraz uczniów liceów technicznych.

Dla potrzeb fotowoltaiki i techniki medycznej opracowano uniwersalny wariant analogowego regulatora ładowania akumulatorów dla autonomicznych systemów fotowoltaicznych, charakteryzujący się nie tylko bardzo wysokimi parametrami, lecz także konkurencyjną ceną, co zaowocowało uzyskaniem zamówień eksportowych.

Dla Instytutu Patofizjologii Collegium Medicum UJ zmodyfikowano stanowisko badawcze, na którym przeprowadzane są testy na zwierzętach doświadczalnych. Ograniczono czas oddziaływania pola elektromagnetycznego na organizm zwierząt do niezbędnego minimum, wystarczającego do wzbudzenia biernych neurowszczepów, a równocześnie niepowodującego ubocznego oddziaływania.

2.1. Synteza i badanie właściwości przewodzącej ceramiki o strukturze perowskitu opartej na $Sr_{1-x}Ce_xMnO_3$ z przeznaczeniem na elektrody ogniów elektrochemicznych i czujników gazów

Ze względu na wysoką cenę platyny, słabą odporność mechaniczną i parowanie w wysokich temperaturach porowatych warstw platynowych bardzo ważne jest poszukiwanie alternatywnych materiałów elektrodowych dla ogniów stałych. Takimi materiałami o wysokim przewodnictwie elektronowo-jonowym oraz doskonałej odporności termicznej i mechanicznej są niektóre złożone tlenki o strukturze perowskitu, m. in. manganiany strontu i lantanowców. Obecnie $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ i $La_{1-x}Ca_xMnO_3$ są oferowane do średnio- i wysokotemperaturowych ogniów paliwowych, czujników i innych urządzeń opartych na ogniwach stałych przez wiele firm, np. amerykańską firmę Nextech.

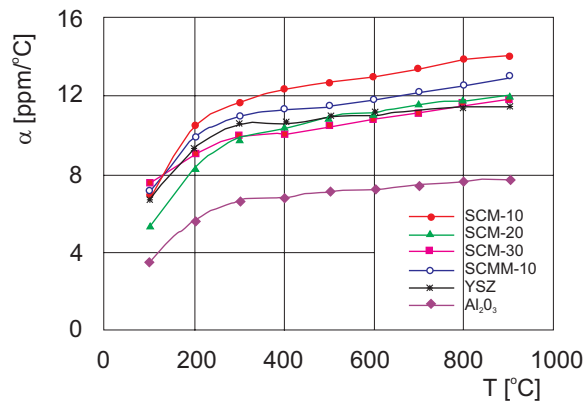
Zmodyfikowano skład i metodykę syntezy związków o strukturze perowskitu przeznaczonych na fazę przewodzącą warstw katodowych w ogniwach stałych oraz przeprowadzono charakterystykę właściwości ceramiki i grubych warstw na bazie manganianów strontowo-cerowych $Sr_{1-x}Ce_xMnO_3$ ($x = 0,1; 0,2; 0,3$). Efektem zastąpienia strontu cerem jest stabilizacja nietrwałej w temperaturze pokojowej struktury perowskitowej $SrMnO_3$, poprawa jonowo-elektronowego przewodnictwa do wartości powyżej 200 S/cm w temperaturze 800°C i obniżenie termicznego współczynnika rozszerzalności liniowej. Problemem jest pogorszenie własności katalitycznych manganianów strontowo-cerowych, zwłaszcza manganianu zawierającego 30% mol. ceru.

Przeprowadzono syntezy manganianów oraz pomiary przewodności elektrycznej i współczynnika rozszerzalności liniowej spiekanych próbek manganianów w funkcji temperatury ($25 \div 900^\circ\text{C}$), a także wykonano na bazie otrzymanych manganianów przewodzące pasty katodowe, które testowano w stężeniowych ogniwach tlenowych.

Charakterystyka ceramiki $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{MnO}_3$

Otrzymano niestechiometryczne manganiany o strukturze perowskitu o następujących wzorach chemicznych: $\text{Sr}_{0,9}\text{Ce}_{0,1}\text{MnO}_3$, $\text{Sr}_{0,8}\text{Ce}_{0,2}\text{MnO}_3$, $\text{Sr}_{0,7}\text{Ce}_{0,3}\text{MnO}_3$ i $\text{Sr}_{0,9}\text{Ce}_{0,1}\text{Mn}^{\text{II}}_{0,3}\text{Mn}^{\text{IV}}_{0,7}\text{O}_3$. Ceramiczne próbki spiekano w temperaturze $1400 \div 1460^\circ\text{C}$ przez 10 h. Analiza rentgenowska potwierdziła, że otrzymane związki mają strukturę perowskitu.

Stwierdzono, że wartość współczynnika rozszerzalności termicznej ceramiki $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{MnO}_3$ w zakresie temperatur $20 \div 900^\circ\text{C}$ wynosi $11,9 \div 14,1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ i maleje ze wzrostem stężenia ceru w związku (rys. 1). Wartość współczynnika rozszerzalności $\text{Sr}_{0,7}\text{Ce}_{0,3}\text{MnO}_3$ była bardzo dobrze dopasowana do tlenku cyrkonu stabilizowanego tlenkiem itru YSZ ($11,5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$) używanego jako elektrolit stały.

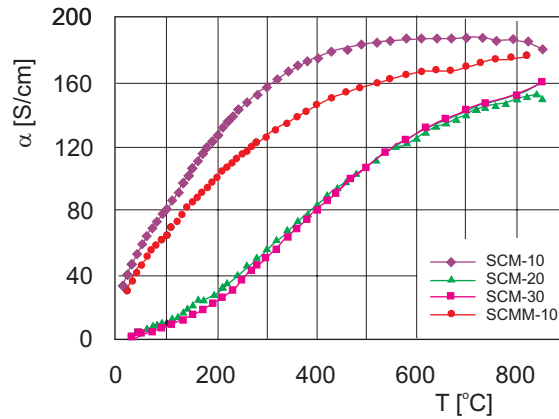


Rys. 1. Termiczny współczynnik rozszerzalności ceramiki $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{MnO}_3$ w zależności od temperatury i zawartości ceru w związku

Do $400 \div 600^\circ\text{C}$ obserwuje się szybki wzrost przewodnictwa ceramiki $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{MnO}_3$ wraz ze wzrostem temperatury. W zakresie wyższych temperatur następuje spłaszczenie zależności świadczące o zmianie charakteru przewodnictwa na metaliczny (rys. 2). Największe wartości przewodności na poziomie 180 S/cm uzyskano dla manganianów zawierających 10% mol. ceru.

Właściwości warstw na bazie manganianów cerowo-strontowych

Na bazie otrzymanych przewodzących manganianów przygotowano pasty szklkowe i bezszklkowe przeznaczone do wykonania warstw katodowych w ogniwach stałych. Do past szklkowych wprowadzano trzy rodzaje szkliw w ilości $1 \div 5\%$ wag.



Rys. 2. Przewodność elektryczna w funkcji temperatury dla manganianów $Sr_{1-x}Ce_xMnO_3$ o różnej zawartości ceru

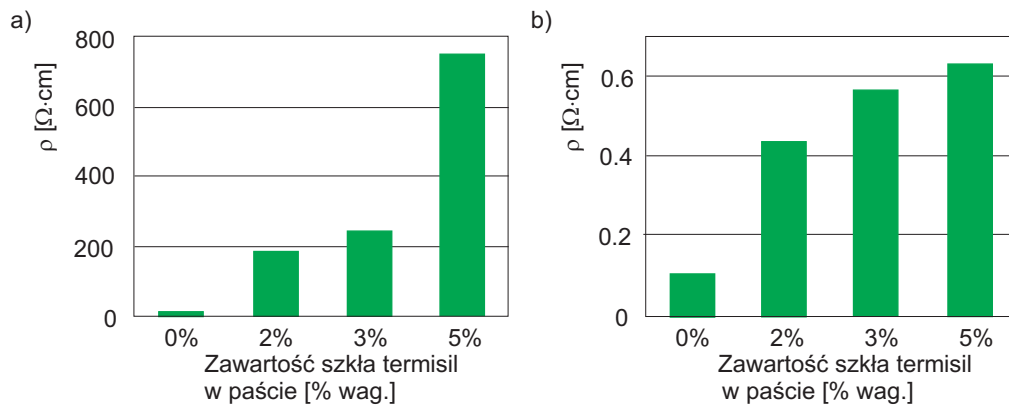
Pasty nanoszono sitodrukiem przez sito stalowe 260 mesh na dwa rodzaje podłoży: alundowe ($96\% Al_2O_3$) oraz YSZ. Wypał past szklawych przeprowadzono w piecu VI-strefowym firmy BTU w temperaturze $960^\circ C$ w ciągu 10 min. Pasty bezszklawowe wypalono w $1250^\circ C$ w ciągu 2 h w piecu komorowym. Grubość warstw po wypaleniu wynosiła $10 \div 12 \mu m$.

Przeprowadzono badania trzech rodzajów szkliw (B, E i Termisil) różniących się temperaturą mięknięcia, ciężarem właściwym i składem chemicznym. Ustalono, że stawiane wymagania najlepiej spełnia szklawo Termisil (tab. 1).

Tabela 1. Rezystywność grubych warstw $Sr_{0,8}Ce_{0,2}MnO_3$ z dodatkiem 2% wag. szkliw B, E i Termisil					
Warunki obróbki termicznej $Sr_{0,8}Ce_{0,2}MnO_3$	Warunki wypalania grubych warstw	Typ szklawa	R/kw. w $20^\circ C$ [$k\Omega$]	ρ w $20^\circ C$ [$\Omega \cdot cm$]	ρ w $820^\circ C$ [$\Omega \cdot cm$]
Kalcynacja w $1350^\circ C$	$960^\circ C$, 10 min.	B	623	467	0,626
		E	685	514	1,236
		Termisil	394	296	0,40

Minimalna ilość szklawa, przy której warstwy mają zadowalającą adhezję do podłoża i odporność na ścieranie, a równocześnie niezbyt wysoką rezystywność, została określona na poziomie 2% wag. w stosunku do ilości użytego manganianu (rys. 3).

W pastach bezszklawowych zastosowano proszki manganianów różniące się warunkami obróbki termicznej, tj. po procesie kalcynacji tlenków w temperaturze $1350^\circ C$ lub po procesie spiekania w $1440^\circ C$. Stwierdzono, że temperatura $1250^\circ C$ jest najniższą temperaturą, przy której bezszklawowe warstwy na bazie manganianów spiekają się uzyskując wystarczającą adhezję do podłoża i odporność na ścieranie.



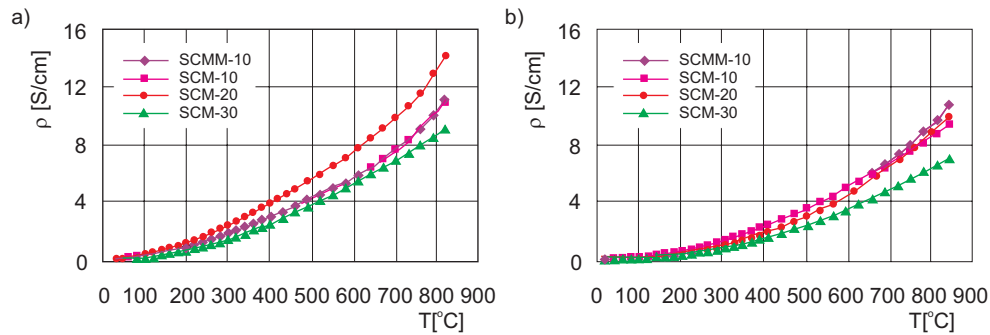
Rys. 3. Zmiany rezystywności warstw $\text{Sr}_{0,9}\text{Ce}_{0,1}\text{MnO}_3$ ze szkliwem Termisil w ilości 0–5% wag. w temperaturze: a) 20°C, b) 820°C

Wartości rezystywności otrzymanych bezszkliwowych warstw $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{MnO}_3$ podano w tab. 2. Na rys. 4 pokazano zależność przewodności warstw od temperatury i zawartości ceru w manganianie oraz sposobu jego obróbki termicznej.

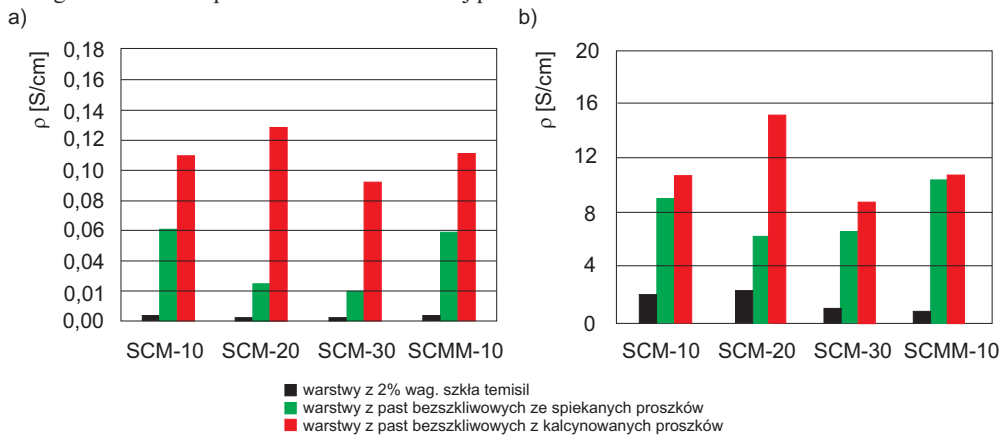
Tabela 2. Rezystywność bezszkliwowych grubych warstw $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{MnO}_3$ spiekanych w 1250°C przez 2h				
Skład	Warunki obróbki termicznej proszków perowskitowych	R/kw. w 20°C [kΩ]	ρ w 20°C [Ω·cm]	ρ w 820°C [Ω·cm]
$\text{Sr}_{0,7}\text{Ce}_{0,3}\text{MnO}_3$	Spiekanie w 1440°C	42,9	51,5	0,143
$\text{Sr}_{0,8}\text{Ce}_{0,2}\text{MnO}_3$		33,6	40,3	0,102
$\text{Sr}_{0,9}\text{Ce}_{0,1}\text{MnO}_3$		15,0	18,0	0,106
$\text{Sr}_{0,9}\text{Ce}_{0,1}\text{Mn}^{2+}_{0,3}\text{Mn}^{4+}_{0,7}\text{O}_3$		14,2	17,0	0,093
$\text{Sr}_{0,7}\text{Ce}_{0,3}\text{MnO}_3$	Kalcynacja w 1350°C	9,0	10,8	0,109
$\text{Sr}_{0,8}\text{Ce}_{0,2}\text{MnO}_3$		6,5	7,8	0,070
$\text{Sr}_{0,9}\text{Ce}_{0,1}\text{MnO}_3$		7,6	9,1	0,090
$\text{Sr}_{0,9}\text{Ce}_{0,1}\text{Mn}^{2+}_{0,3}\text{Mn}^{4+}_{0,7}\text{O}_3$		7,5	9,0	0,089

Na podstawie badań przewodnictwa warstw w funkcji temperatury stwierdzono, że:

- w temperaturze 820°C przewodność warstw jest około 100-krotnie wyższa niż w temperaturze pokojowej;
- wprowadzenie słabo przewodzącego szkliwa do warstw powoduje 4–6-krotny spadek przewodnictwa w porównaniu z warstwami bezszkliwowymi będącymi czystymi manganianami (rys. 5);
- najwyższe wartości przewodności (14 S/cm) uzyskano dla warstw bezszkliwowych z proszków kalcynowanych, których aktywność podczas wypalania warstw jest większa niż proszków spiekanych (rys. 4 i 5). Jest to korzystne z ekonomicz-



Rys. 4. Zależność przewodności bezszkliwowych grubych warstw $Sr_{1-x}Ce_xMnO_3$ od temperatury, ilości ceru w manganianach oraz sposobu obróbki termicznej proszków



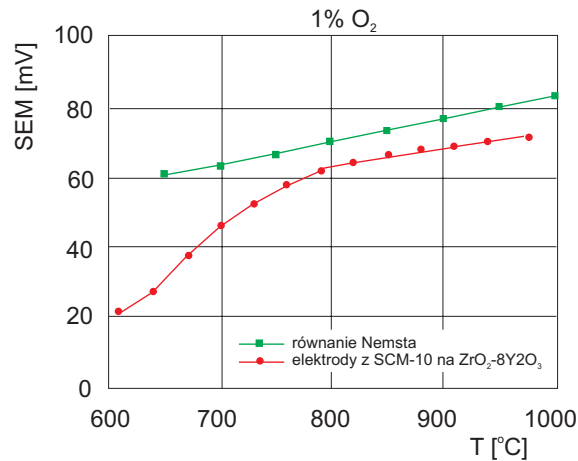
Rys. 5. Przewodność elektryczna warstw $Sr_{1-x}Ce_xMnO_3$ szklowych i bezszkliwowych w temperaturze: a) 20°C, b) 820°C

nego punktu widzenia, bo pozwala pominąć proces spiekania manganianów przy przygotowywaniu past (rys. 4 i 5).

Zdolność do pracy warstw manganianowych jako elektrod badano mierząc SEM stężeniowego ogniwa tlenowego w zakresie temperatur $600 \div 950^\circ\text{C}$. W ogniwie elektrolit stały stanowił tlenek cyrkonu stabilizowany tlenkiem itru, a elektrody wykonano z opracowanych past na bazie $Sr_{1-x}Ce_xMnO_3$. W temperaturze powyżej 750°C zależność siły elektromotorycznej od temperatury ma charakter liniowy, a nachylenie wykresu i wartości SEM są zbliżone do przebiegu teoretycznego wynikającego z równania Nernsta (rys. 6).

Wnioski

Opracowane warstwy na bazie przewodzącej ceramiki $Sr_{1-x}Ce_xMnO_3$ o strukturze perowskitu wykazują dobrą przewodność elektryczną, dopasowanie pod względem współczynnika rozszerzalności termicznej do elektrolitu stałego na bazie tlenku cyrkonu i mogą być z powodzeniem zastosowane na warstwy katodowe ogniw elektrochemicznych.



Rys. 6. Porównanie siły elektromotorycznej ogniwa z elektrolitem stałym ZrO_2 domieszkowanym 8% mol. Y_2O_3 i elektrodami z $Sr_{0,9}Ce_{0,1}MnO_3$ z teoretycznymi wartościami obliczonymi z równania Nernsta

2.2. Charakterystyka właściwości dielektrycznych ceramiki $Pb(Fe_{1/2}Ta_{1/2})O_3$ o strukturze perowskitu i grubych warstwach wykonanych na jej bazie przeznaczonych na kondensatory typu II

Relaksorowe ferroelektryki $Pb(B'B'')O_3$ ($B = Mg^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Fe^{3+}, Ni^{2+}, In^{3+}, Sc^{3+}$; $B'' = Nb^{5+}, Ta^{5+}, W^{6+}$) o strukturze perowskitu ze względu na interesujące właściwości dielektryczne, piezoelektryczne, piroelektryczne i optyczne są od wielu lat przedmiotem intensywnych badań. Korzystnymi właściwościami tych materiałów, które predestynują je do zastosowania jako dielektryka w kondensatorach typu II, są bardzo wysoka przenikalność elektryczna, szerokie maksimum przenikalności elektrycznej, słaba zależność pojemności od natężenia pola elektrycznego i stosunkowo niska temperatura spiekania.

$Pb(Fe_{1/2}Ta_{1/2})O_3$ (PFT) należy do najmniej zbadanych relaksorów. W ramach projektu przeprowadzono syntezę i spiekanie ceramiki na bazie czystego PFT i roztworów stałych PFT i $PbTiO_3$ oraz charakterystykę właściwości dielektrycznych tych materiałów. Opracowano pasty dielektryczne oparte na ceramice relaksorowej. Przeprowadzono badania parametrów wykonanych testowych kondensatorów grubowarstwowych z dielektrykiem opartym na ceramice relaksorowej.

Metodyka badań

Przeprowadzono dwuetapową syntezę relaksorowego ferroelektryka $Pb(Fe_{1/2}Ta_{1/2})O_3$: kalcynację tlenków Fe_2O_3 i Ta_2O_5 w temperaturze $1000^\circ C$ oraz reakcję wolframu $FeTaO_4$ z PbO w temperaturze $850^\circ C$. Do zestawów wprowadzano dodatek $0,1 \div 1\%$ mol. MnO_2 lub Co_3O_4 w celu poprawy rezystywności ceramiki. Dodawano również w ilości 5, 10, 15, 20 i 25% mol. normalny ferroelektryk $PbTiO_3$ wpływający na przesunięcie temperatury Curie. Ceramikę PFT i roztwory stałe PFT-PT spiekano

w temperaturze $1000 \div 1100^\circ\text{C}$ w ciągu 2 h w zamkniętych tyglach alundowych, w zasypce z PbZrO_3 ograniczającej parowanie PbO .

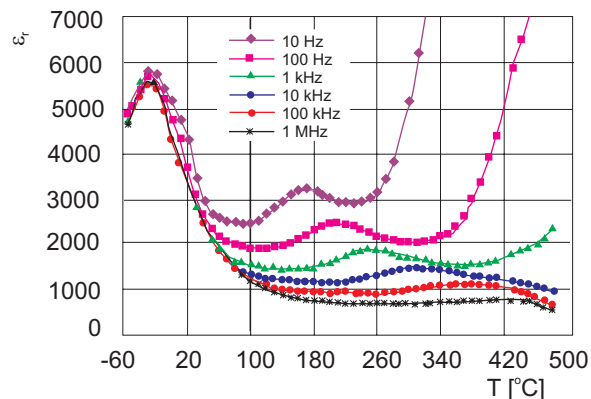
Przygotowano pasty dielektryczne oparte na PFT, PFT-PT i PFT-PFN-PT. Pasty sporządzono przez zmieszanie zmielonego proszku dielektrycznego o założonym składzie z $30 \div 40\%$ wagowymi organicznego nośnika – roztworu etylocelulozy w terpineolu. Wykonano testowe kondensatory grubowarstwowe. Na podłożu $96\% \text{Al}_2\text{O}_3$ nanoszono metodą sitodruku dolną elektrodę. Następnie drukowano, suszono i wypalano w VI-strefowym piecu przelotowym BTU w temperaturze $850 \div 880^\circ\text{C}$ kolejno dwie lub trzy warstwy dielektryczne. Na wypaloną warstwę dielektryczną nanoszono górną elektrodę.

Przeprowadzono pomiary rezystywności ceramiki i warstw w zakresie temperatur $20 \div 500^\circ\text{C}$. Badano przenikalność elektryczną i stratność kondensatorów płytkowych i grubowarstwowych w funkcji temperatury (w zakresie od -55°C do 500°C) i częstotliwości ($10 \text{ Hz} \div 1 \text{ MHz}$).

Próbki po spiekaniu były poddawane obserwacji w mikroskopie skaningowym i badaniom przy użyciu mikroanalizatora rentgenowskiego w celu określenia wielkości ziaren, rozmieszczenia faz, jednorodności składu chemicznego, współpracy z elektrodami.

Właściwości dielektryczne ceramiki opartej na PFT

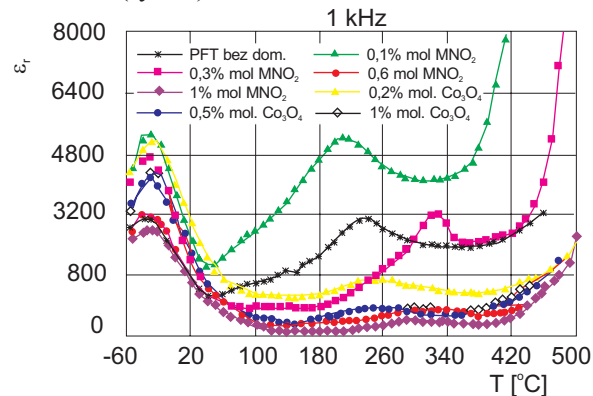
Ceramika na bazie relaksorowego ferroelektryka PFT charakteryzowała się wysoką przenikalnością elektryczną do 6000 (w temperaturze Curie) (rys. 7). W badanym zakresie temperatur dla danej częstotliwości oprócz maksimum przeni-



Rys. 7. Temperaturowa zależność przenikalności elektrycznej ceramiki PFT (0,2% mol. Co_3O_4) w zakresie częstotliwości $10 \text{ Hz} \div 1 \text{ MHz}$

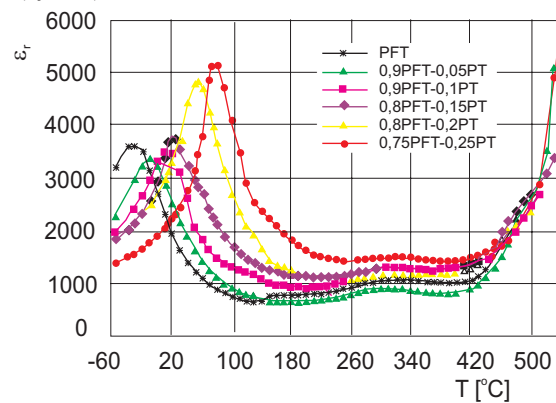
kalności elektrycznej odpowiadających przemianie ferroelektryk-paraelektryk w wyższych temperaturach występowały drugie piki związane z procesem relaksacji. Bardzo wyraźny był wpływ udziału domieszek na wysokość i położenie obu pików. Przy małej zawartości domieszek ($0,1 \div 0,3 \%$ mol.) maksymalne wartości ϵ_r w temperaturze przemiany ferroelektryk-paraelektryk były wyraźnie większe niż dla nie-

domieszkowanej ceramiki PFT lub z zawartością domieszek 0,5 ÷ 1% mol. Drugie maksima przenikalności elektrycznej obniżały się ze wzrostem zawartości domieszek, zwłaszcza MnO_2 (rys. 8).



Rys. 8. Temperaturowa zależność przenikalności elektrycznej ceramiki PFT z różną zawartością domieszek MnO_2 i Co_3O_4 dla częstotliwości 1 kHz

Dodatek normalnego ferroelektryka PbTiO_3 powodował niemal liniowy wzrost temperatury Curie od -30°C dla czystego PFT do 80°C dla ceramiki 0,75PFT-0,25PT. Maksymalne wartości ϵ_r rosły, a maksima stawały się bardziej ostre ze wzrostem zawartości PbTiO_3 (rys. 9).



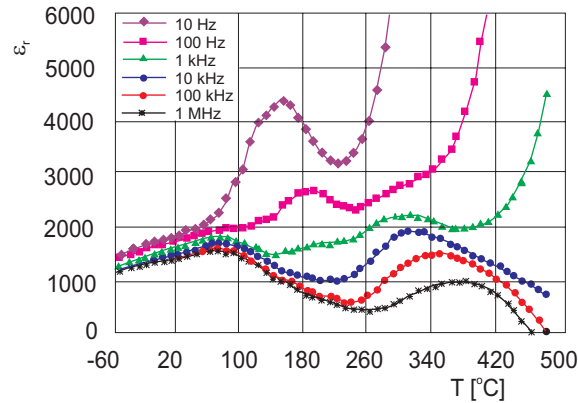
Rys. 9. Temperaturowa zależność przenikalności elektrycznej dla ceramiki PFT-PT o zawartości PT w zakresie 0 ÷ 25% mol. dla częstotliwości 1 kHz

Charakterystyka warstw na bazie PFT

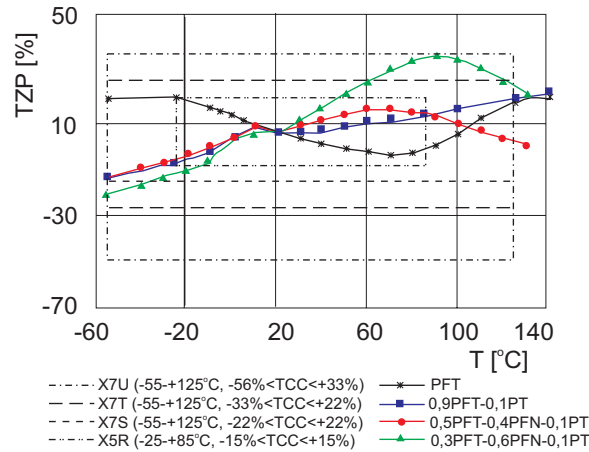
Opracowane pasty ferroelektryczne oparte na roztworach stałych $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Ta}_{1/2})\text{O}_3$ - PbTiO_3 i $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Ta}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ - PbTiO_3 , przeznaczone na warstwę dielektryczną w kondensatorach grubowarstwowych, charakteryzowały się:

- zwartą mikrostrukturą mimo braku dodatków nieferroelektrycznych ułatwiających spiekanie,
- możliwością wypalania zgodnie z typową procedurą grubowarstwową,

- wysokimi maksymalnymi wartościami przenikalności elektrycznej ($300 \div 4500$) (rys. 10),
- niską temperaturową zmianą pojemności w zakresie od -55°C do 125°C (rys. 11),
- wysoką rezystywnością (ponad $10^{11} \Omega\cdot\text{cm}$ w temperaturze 20°C).



Rys. 10. Temperaturowa zależność przenikalności elektrycznej dla warstwy 0,5PFT-0,4PFN-0,1PT w zakresie 10 Hz ÷ 1 MHz

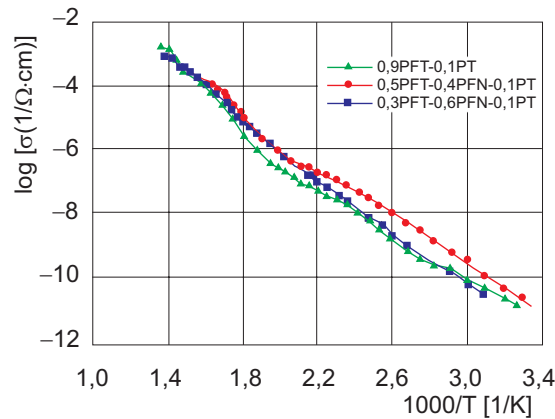


Rys. 11. Temperaturowa zmiana pojemności dla warstw PFT, PFT-PT i PFT-PFN-PT w zakresie temperatur od -55 do 140°C dla 1 kHz

Dla danej częstotliwości wyraźne są dwa szerokie maksima na krzywych zależności przenikalności elektrycznej od temperatury – jedno, odpowiadające przemianie ferroelektryk-paraelektryk, i drugie, związane z relaksacją dielektryczną, które obniża się i ulega przesunięciu w kierunku wyższych temperatur ze wzrostem częstotliwości.

Na wykresach zależności przewodności elektrycznej warstw od odwrotności temperatury występują dwa odcinki, dla których spełniona jest zależność Arrheniusa. Zmiana nachylenia wykresów świadcząca o zmianie mechanizmu przewodzenia jest obserwowana w temperaturze ok. $230 \div 250^{\circ}\text{C}$. Energia aktywacji odpowiadająca

niższemu zakresowi temperatur dla badanych warstw wynosiła $0,7 \div 0,8$ eV. Dla wyższego zakresu temperatur była wyższa i wynosiła od 1 eV do 1,3 eV (rys. 12).



Rys. 12. Temperaturowa zależność przewodności elektrycznej warstw 0,9PFT-0,1PT, 0,5PFT-0,4PFN-0,1PT i 0,3PFT-0,6PFN-0,1PT w zakresie temperatur $20 \div 500^\circ\text{C}$

Wnioski

Stwierdzono, że pasty na bazie relaksorowego ferroelektryka $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Ta}_{1/2})\text{O}_3$, w szczególności oparte na roztworach stałych tego związku z relaksorem $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ i normalnym ferroelektrykiem PbTiO_3 , bardzo dobrze nadają się do wykonania warstw dielektrycznych w grubowarstwowych kondensatorach typu II. Warstwy te odznaczają się doskonałą zwartością, wysokimi wartościami przenikalności elektrycznej, wysoką rezystywnością i niską temperaturową zmianą pojemności.

2.3. Opracowanie technologii wykonywania wielofunkcyjnych elementów rezystywnych z mikrokompozytów polimerowo-węglowych

Warstwy polimerowo-węglowe oraz polimerowo-srebrne są zaliczane do grupy materiałów kompozytowych. Ze względu na wielkość uziarnienia wypełniacza przewodzącego elektrycznie nazywane są mikrokompozytami. Z powodu niskich kosztów wytwarzania oraz korzystnych parametrów znajdują one coraz szersze zastosowanie. Przewodnictwo elektryczne w takich mikrokompozytach odbywa się wzdłuż ciągłych łańcuchów przewodzących utworzonych przez kontaktujące się ziarna wypełniacza. Umiejętne oddziaływanie na te kontakty pozwala na sterowanie własnościami elektrycznymi mikrokompozytów.

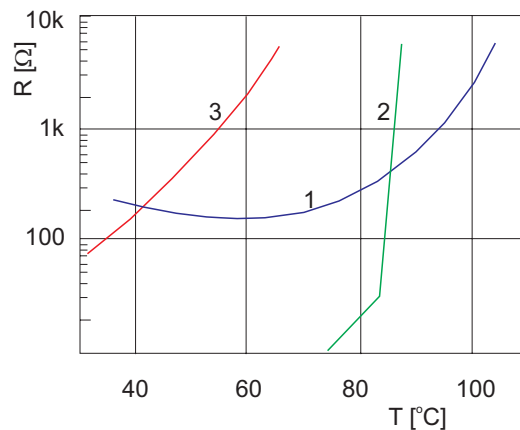
Jednym z ważniejszych zastosowań mikrokompozytów polimerowych są grzejniki o temperaturze pracy poniżej 80°C . Nanoszone są one techniką sitodruku na powierzchni podłoża elektroizolacyjnych, najczęściej na folii poliestrowej. Dzięki ich elastyczności łatwo je przykleić do powierzchni sferycznej lusterka, a dzięki niewielkiej pojemności cieplnej szybciej rozgrzewają się od innych typów pod-

grzewaczy. Bardzo istotnym parametrem jest temperaturowy współczynnik rezystancji (TWR). Im wyższa jest jego wartość, tym większe są oszczędności energetyczne oraz korzystniejszy rozkład temperatury na powierzchni grzejnika. Polimero-węglowe pozystorowe warstwy grzejne mają tak wysoką wartość TWR , że nie wymagają stosowania termoregulatorów. W temperaturze pracy grzejnika pobór mocy silnie ograniczany jest przyrostem rezystancji.

Własności elektryczne mikrokompozytów polietylenowo-węglowych

Do pomiaru własności elektrycznych badanych mikrokompozytów polietylenowo-węglowych wykonane zostały objętościowe elementy rezystywne. Rozdrobnione spoiwa polimerowe podgrzewano do temperatury płynięcia, dodawano porcjami grafit i mieszano w podwyższonej temperaturze do uzyskania jednorodnej konsystencji. Uzyskane w ten sposób mikrokompozyty zaprasowywano następnie w podwyższonej temperaturze między dwiema foliami miedzianymi grubości $17\ \mu\text{m}$ aż do uzyskania odległości między nimi wynoszącej ok. 1 mm. Następnie cięto całość na kwadraty o powierzchni ok. $0,5\ \text{cm}^2$ i przylutowywano wyprowadzenia elektryczne z drutu miedzianego. Kwadratowe elementy rezystywne zabezpieczano zalewą epoksydową w taki sposób, aby były odsłonięte wyprowadzenia elektryczne.

Na rys. 13 przedstawiono zależność rezystancji od temperatury dla mikrokompozytowych elementów rezystywnych ze spoiwem polietylenowym niskociśnieniowym (również modyfikowanym). Zawartość grafitu w całkowitej masie mikrokompozytów zawierała się w granicach od 50% do 60%. Stąd wynika zróżnicowanie rezystancji w początkowym zakresie pomiarowym temperatury.



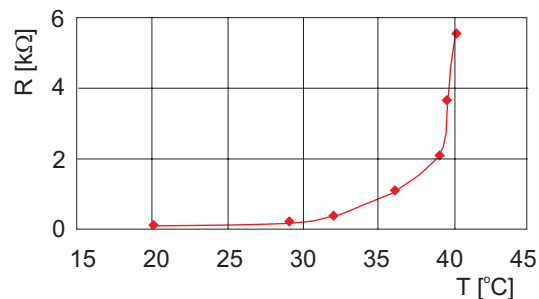
Rys. 13. Zależność rezystancji od temperatury elementów rezystywnych ze spoiwem polietylenowym niskociśnieniowym: 1 – bez modyfikatorów, 2 – modyfikowanym woskiem polietylenowym, 3 – modyfikowanym polialkoholem winylowym

Modyfikując spoiwo polietylenowe niskociśnieniowe woskiem polietylenowym można uzyskać o wiele wyższe przyrosty rezystancji dla temperatury powyżej 85°C . Jest to efektem kilkuprocentowej kontrakcji objętościowej wosku oraz jego gwałtownego przechodzenia w stan płynny w zakresie temperatur od 85°C do 100°C

(charakterystyka 2 na rys. 13). Należy zaznaczyć, że wosk polietylenowy ma chemiczną strukturę polietylenu, jednak jego łańcuchy są wielokrotnie krótsze, dzięki czemu uzyskuje się bardzo silny efekt płynięcia. Udział wosku w całej objętości spoiwa wynosił 50%. Jako wypełniacz węglowy zastosowano płatki grafitowe o maksymalnych rozmiarach nieprzekraczających 20 μm .

W wyniku modyfikacji spoiwa polietylenowego polialkoholem winylowym uzyskano charakterystykę pozystorową elementów rezystywnych dla temperatury poniżej 70°C (krzywa 3 na rys. 13). Średnia wartość TWR w zakresie temperatur poniżej 70°C wynosi kilkaset tysięcy $\text{ppm}/^\circ\text{C}$. Przyrost rezystancji w zakresie temperatur od 40°C do 70°C dla krzywej 3 ma niemal identyczny przebieg jak charakterystyka 1 w zakresie temperatur od 80°C do 110°C. Zatem modyfikacja spoiwa polietylenowego niskociśnieniowego polialkoholem winylowym spowodowała obniżenie charakterystyki pozystorowej o ok. 40°C.

W celu dalszego obniżenia temperatury pozystorowej charakterystyki polietylenowo-węglowych elementów rezystywnych przeprowadzono modyfikację parafiną spoiwa polietylen niskociśnieniowy-polialkohol winylowy. W efekcie uzyskano pozystorowy przebieg charakterystyki dla temperatury poniżej 40°C (rys. 14).



Rys. 14. Charakterystyka $R(T)$ elementu rezystywnego ze spoiwem polietylen-polialkohol winylowy-parafina

Było to możliwe dzięki bardzo specyficznym właściwościom parafiny, której współczynnik rozszerzalności temperaturowej po przekroczeniu temperatury 38°C wzrasta od 130 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ do 570 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$. Połączone to jest z przechodzeniem w stan płynny. Tak silna rozszerzalność spoiwa powoduje zerwanie części łańcuchów wypełniacza węglowego. Równocześnie następuje efektywne pogorszenie własności mechanicznych spoiwa dające w efekcie zmniejszenie sił wywieranych na kontakty między poszczególnymi ziarnami wypełniacza węglowego.

Elementy rezystywne ze spoiwem polietylen-polialkohol winylowy-parafina zostały wykonane w postaci warstw na powierzchni ceramicznych kształtek. Z rezystorów SMD poprzez piaskowanie usunięto warstwy rezystywne. Do kontaktów elektrycznych przylutowano cienkie druty miedziane. Następnie ceramikę zanurzano w roztopionym mikrokompozycie trzymając za wyprowadzenia miedziane. Po ostygnięciu warstwy elementy rezystywne zabezpieczano warstwą zalewy epoksydowej z dodatkiem utwardzacza sieciującego w temperaturze otoczenia. Powstały „kokon” epoksydowy

zabezpieczał przed uszkodzeniem warstwy rezystywnej oraz przed jej odwarstwieniem się od powierzchni ceramicznej w momencie zmięknięcia spoiwa polimerowego.

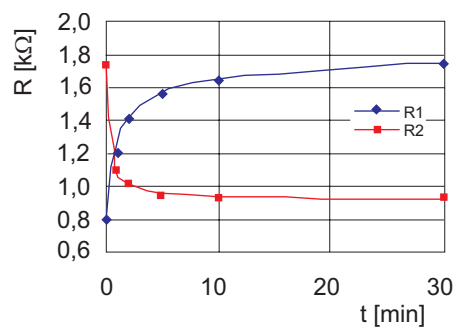
Badane próbki zostały podzielone na dwie grupy. Pierwszą z nich poddano obciążeniu elektrycznemu. W celu zapewnienia dokładnego pomiaru temperatury w tej grupie badanych elementów rezystywnych na części warstwy rezystywnej zamiast zalewy epoksydowej umieszczono kawałki cienkiej folii aluminiowej. Pomiary temperatury prowadzono przy użyciu bezkontaktowego pirometru firmy Optex. Dokładność pomiaru temperatury wynosiła $0,1^{\circ}\text{C}$.

Początkowo ze wzrostem napięcia zasilającego następował proporcjonalny wzrost natężenia prądu. Dla temperatury powyżej 30°C została osiągnięta maksymalna wartość natężenia prądu. Wysoka wartość TWR powodowała, że ze wzrostem napięcia zasilającego wartość natężenia prądu malała. W zakresie temperatur od 35°C do 40°C uzyskano siedmiokrotny przyrost rezystancji mikrogrzejnika. Z tego wynika, że średnia wartość w tym zakresie temperaturowym TWR wynosiła $1,2/^{\circ}\text{C}$.

Próbie obciążenia elektrycznego prowadzono przez 100 h. Przed próbą rezystancja w temperaturze otoczenia wynosiła $100\ \Omega$, a po próbie $800\ \Omega$. Nastąpił zatem ośmiokrotny przyrost rezystancji w temperaturze otoczenia. Po ponownym podłączeniu badanych elementów rezystywnych do źródła zasilania przebieg charakterystyki zmian rezystancji w zakresie temperatur od 35°C do 40°C nie zmienił się, nie zmieniła się zatem wartość TWR elementów rezystywnych.

Drugą grupę badanych elementów rezystywnych przebadano pod kątem możliwości ich zastosowania jako czujniki temperatury. W celu uzyskania stabilnych parametrów w temperaturze otoczenia badane elementy rezystywne poddano wstępnemu starzeniu termicznemu. Przez 8 h obciążono je taką mocą, by temperatura powierzchni warstwy mikrokompozytowej wynosiła 40°C . Po wyłączeniu ze źródła zasilania elementy rezystywne pozostawiono w temperaturze otoczenia na 24 h.

Po zmierzeniu rezystancji w temperaturze otoczenia badane elementy rezystywne zanurzano na 30 min. w naczyniu z olejem o temperaturze 40°C , a następnie wyjmowano je na taki sam okres. Temperatura otoczenia wynosiła $21 \div 22^{\circ}\text{C}$. W trakcie prowadzonych cykli dokonywano pomiarów rezystancji. Wyniki przedstawiono na rys. 15.



Rys. 15. Zależność rezystancji od temperatury elementów rezystywnych w trakcie pełnego cyklu pomiarowego

Element rezystywny o rezystancji $0,8 \text{ k}\Omega$ w temperaturze otoczenia został zanurzony w naczyniu z olejem o temperaturze 40°C . Przebieg zmian rezystancji przedstawia charakterystyka *R1*. W pierwszej minucie szybkość przyrostu rezystancji jest najwyższa. Uwzględniając fakt, że transport ciepła do powierzchni elementu rezystywnego przez zabezpieczającą zalawę epoksydową jest mocno ograniczony, możemy uznać, że zmiany rezystancji odbywają się w zakresie sprężystych zmian objętości mikrokompozytu. Dalsze, znacznie powolniejsze przyrosty rezystancji są efektem lepkosprężystych własności spoiwa.

Charakterystyka *R2* przedstawia przebieg zmian rezystancji badanego elementu rezystywnego po wyjęciu z rozgrzanego oleju. W tym przypadku również zaobserwowano najwyższe zmiany rezystancji w pierwszej minucie. Dalsze zmiany rezystancji są efektem powolnej relaksacji naprężeń mechanicznych wewnątrz struktury mikrokompozytu. Po 30 min. uzyskano wartość rezystancji $0,92 \text{ k}\Omega$. Jest to wartość o 15% wyższa od wartości rezystancji na początku cyklu pomiarowego. Całkowity powrót rezystancji do wartości początkowej ($0,8 \text{ k}\Omega$) nastąpił po 48 h. Po kilku cyklach zanurzania w oleju o temperaturze otoczenia i wyjmowania do temperatury otoczenia zaobserwowano stopniowy przyrost rezystancji elementów rezystywnych w temperaturze otoczenia. Było to prawdopodobnie efektem stopniowego oddzielania się stopionej parafiny od reszty spoiwa.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów należy stwierdzić, że elementy rezystywne z badanego mikrokompozytu polimerowo-węglowego zdecydowanie bardziej nadają się na grzejniki pozystorowe niż na czujniki temperatury.

Pozystorowe podgrzewacze lusterek

Celem eksperymentu było przeprowadzenie badań porównawczych różnych typów podgrzewaczy. Do rozmrożenia warstwy lodu na powierzchni lusterka konieczne jest dostarczenie określonej ilości energii elektrycznej, która zamienia się w energię cieplną. Szybkość rozmrażania lusterek badano w warunkach identycznych dla wszystkich podgrzewaczy. Użyto sferycznych lusterek o wymiarach $240 \times 145 \text{ mm}$ stosowanych w samochodach ciężarowych. Lusterka były wykonane ze szkła grubości 2 mm i jako warstwę odbłaskową miały napyłoną warstwę aluminium. Do wewnętrznej powierzchni lusterek przyklejono za pomocą taśmy dwustronnie klejącej podgrzewacze o wymiarach zewnętrznych $195 \times 110 \text{ mm}$. Lusterka umieszczano w komorze chłodniczej o temperaturze $-10 \pm 2^\circ\text{C}$ bez wymuszonego obiegu powietrza. Na zewnętrzną powierzchnię lusterka rozpylano wodę w ilości 5 cm^3 na każdy dm^2 powierzchni z odległości $20 - 25 \text{ cm}$. Po 10 min. od zakończenia rozpylania grzejniki podłączano do układu zasilającego. Mierzono czas, po jakim powierzchnia grzejnika zostanie rozmrożona. Do badań użyto następujące rodzaje podgrzewaczy (wszystkie na podłożach z folii poliestrowej PET):

- trawione z folii aluminiowej (oznaczenie Al.),
- z polimerowo-węglową warstwą grzejącą ze spoiwem poliestrowym (oznaczenie C),

- wielosekcyjne z polimerowo-srebrowymi ścieżkami grzejnymi (oznaczenie Ag),
- z polimerowo-węglową pozystorową warstwą grzejną (oznaczenie P).

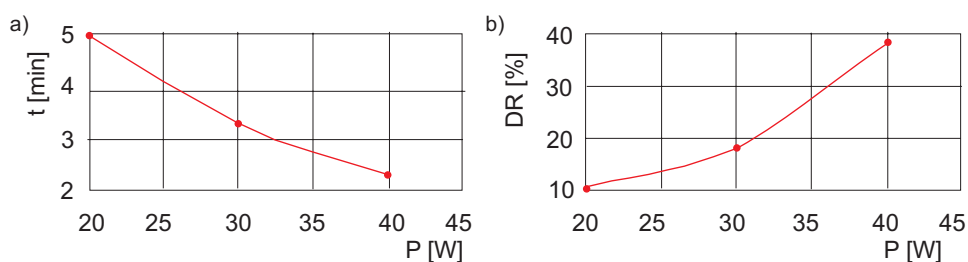
W czasie normalnej eksploatacji samochodu zachodzi często potrzeba włączenia podgrzewacza lusterka również w ciepłe dni (zaparowanie lusterka). Dla różnych typów podgrzewaczy przyklejonych do lusterek mierzono czas rozgrzewania oraz temperaturę powierzchni lusterek. Do pomiarów użyto kamery termowizyjnej VIGO V20. Ma ona możliwość pomiaru średniej temperatury w zaznaczonym obszarze na powierzchni grzejnika. Taki pomiar jest znacznie dokładniejszy od punktowego pomiaru temperatury przy użyciu pirometru lub termopary. Pomiary prowadzono dla różnych mocy zasilania elementów grzejnych od 20 W do 45 W.

W tab. 3 przedstawiono wyniki pomiarów czasu rozmrażania lusterek samochodowych podgrzewanych różnymi typami podgrzewaczy. Mierzono czas rozmrażania oraz zmianę prądu pobieranego w trakcie rozmrażania. Wszystkie podgrzewacze zasilano mocą 24 W w momencie włączenia zasilania.

Tabela 3. Pomiar czasu rozmrażania lusterek oraz zmiany poboru prądu w trakcie rozmrażania				
Grzejnik	I [A]	I_r [A]	ΔI [%]	T [min.]
P	0,201	0,175	15	4,1
C	0,92	0,88	4,5	4,5
Ag	1,06	0,99	8	4,5
Al	1,27	1,3	5,8	4,3

I_o – natężenie prądu na początku rozmrażania, I_r – natężenie prądu po zakończeniu rozmrażania, ΔI – względna procentowa zmiana natężenia prądu, T – czas rozmrażania

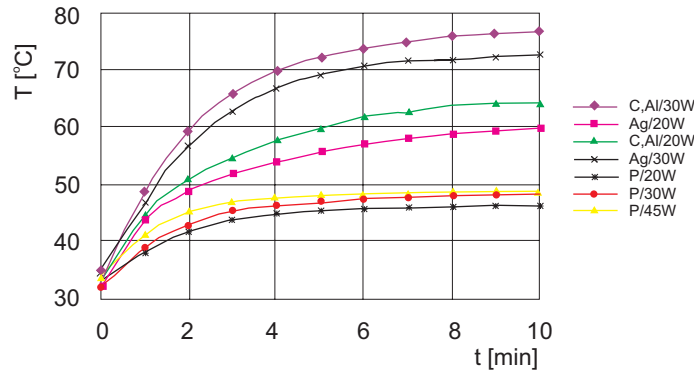
Na rys. 16 przedstawiono wyniki pomiarów czasu rozmrażania lusterek oraz zmiany poboru prądu w trakcie rozmrażania w zależności od mocy początkowej grzejników pozystorowych. Czas rozmrażania dla wszystkich typów grzejników był porównywalny. Do rozmrożenia stałej ilości lodu o stałej temperaturze zawsze jest potrzebna stała ilość energii. Spadek poboru prądu w trakcie rozmrażania wynika



Rys. 16. Zależność czasu rozmrażania oraz zmian poboru prądu w trakcie rozmrażania od mocy grzejników

z faktu, że dla zapewnienia szybszego rozmrażania (ze wzrostem mocy) potrzebna jest coraz większa różnica temperatur po obu stronach lusterka. Ze wzrostem temperatury warstwy pozystorowej rośnie jej rezystancja.

Na rys. 17 przedstawiono wyniki pomiarów temperatury lusterek podgrzewanych różnymi grzejnikami w funkcji czasu. Pomiar początkowy przeprowadzono w temperaturze nieco wyższej od temperatury otoczenia. Lusterka podgrzewano wstępnie włączając zasilanie na kilka sekund. Ułatwiło to pozycjonowanie lusterek w obszarze roboczym przed obiektywem kamery termowizyjnej.



Rys. 17. Charakterystyki rozgrzewania lusterek samochodowych z zastosowaniem różnych podgrzewaczy o różnej mocy

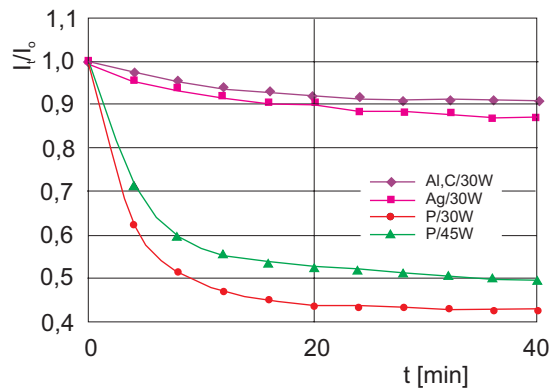
Przyklejenie grzejników do wewnętrznej powierzchni lusterek znacznie poprawia transport energii cieplnej. Już po 2 min. od momentu włączenia zasilania we wszystkich lusterkach zaobserwowano 50% całkowitego przyrostu temperatury. Przyrost temperatury był zależny od mocy podgrzewaczy oraz wartości *TWR*.

Najwyższą temperaturę zarejestrowano na lusterkach podgrzewanych elementami grzejnymi ze ścieżkami Al. oraz warstwami poliestrowo-węglowymi. Dla mocy 30 W uzyskano temperaturę 77°C. Jako graniczną temperaturę pracy przyjęto 80°C. Powyżej tej temperatury uszkodzeniu termicznemu mogą ulec plastikowe elementy zespołu lusterka samochodowego.

Dla podgrzewaczy wykonanych z mikrokompozytu polimerowo-srebrowego uzyskano dla analogicznych mocy temperatury o 4 ÷ 5°C niższe. Wynika to z wyższej wartości *TWR* tych warstw.

Najlepszymi parametrami charakteryzowały się podgrzewacze z warstwą pozystorową. Przy mocy zasilania grzejnika 20 W temperatura powierzchni lusterka osiągnęła wartość 47°C. Ponad dwukrotny wzrost mocy zasilającej (45 W) dał w efekcie przyrost temperatury lusterka zaledwie o 2°C. Zwielokrotnienie mocy przyspiesza proporcjonalnie efektywność rozmrażania oraz odparowywania wody.

Na rys. 18 przedstawiono wyniki pomiarów zmian natężenia prądu w warstwach grzejnych w trakcie rozgrzewania lusterek. Pomiar prowadzono równocześnie z rejestracją temperatury na powierzchni podgrzewanych lusterek (rys. 17). Dla podgrzewaczy ze ścieżką grzejną Al. oraz dla warstw poliestrowo-węglowych zaobserwowa-



Rys. 18. Wyniki pomiarów poboru prądu przez podgrzewacze w trakcie rozgrzewania lusterek

no powolny spadek natężenia prądu do wartości 0,908 natężenia początkowego. Temperatura powierzchni lusterka wzrosła w tym samym czasie o ponad 50°C . W zastosowanych podgrzewaczach $TWR = 3000 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}$.

W podgrzewaczach wielosekcyjnych ze srebrowymi ścieżkami grzejnymi $TWR = 6000 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}$. Silniejszy wzrost rezystancji ze wzrostem temperatury spowodował większy spadek natężenia płynącego przez grzejnik prądu. W efekcie końcowym uzyskano niższą wartość temperatury na powierzchni lusterek.

Dla grzejników pozystorowych zaobserwowano najsilniejsze zmiany natężenia prądu w pierwszych dwóch minutach od momentu włączenia zasilania. Ponad dwukrotny spadek poboru mocy spowodował silne ograniczenie temperatury na powierzchni lusterek. Dla grzejników pozystorowych o mocy początkowej 45 W po 7 min. od momentu włączenia moc pobierana ze źródła zasilania wynosiła 19 W. Podgrzewacze są eksploatowane głównie w zimie, kiedy pobór prądu w samochodzie jest największy. Znaczące ograniczenie poboru mocy niewątpliwie wpływa na sprawność układu elektrycznego w samochodzie.

Wnioski

Podgrzewacze foliowe przyklejone do wewnętrznej powierzchni lusterek samochodowych skutecznie rozmrażają ich powierzchnię. Dla wszystkich typów podgrzewaczy uzyskano przy mocy 24 W czas rozmrażania poniżej 5 min.

Zwiększenie mocy podgrzewaczy proporcjonalnie przyspiesza czas rozmrażania lusterek. Powoduje to jednak proporcjonalny wzrost temperatury grzejników. Dla grzejników o mocy 30 W temperatura na powierzchni lusterek nie przekraczała 80°C przy temperaturze otoczenia 25°C . Nie ma więc obawy, że dojdzie do termicznej degradacji plastycznych elementów obudowy lusterka.

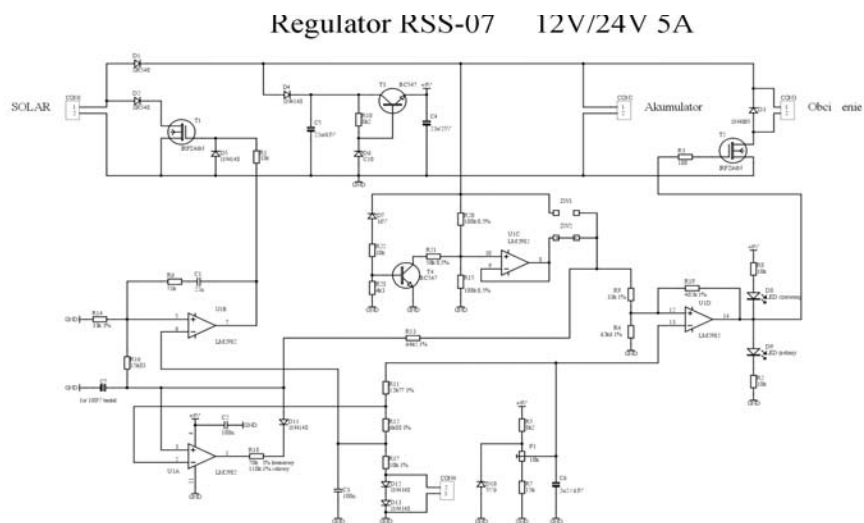
Podgrzewacze pozystorowe wykazują bardzo silne ograniczenie poboru mocy w trakcie rozgrzewania. Dzięki temu temperatura powierzchni lusterek przez nie podgrzewanych jest o $20 \div 30^{\circ}\text{C}$ niższa w stosunku do innych podgrzewaczy. Pozwala to na zwiększenie mocy grzejników w momencie rozmrażania, a w efekcie na skrócenie czasu rozmrażania.

2.4. Układy do systemów przetwarzania energii w małych elektrowniach słonecznych

Kontynuując tematykę mikroprocesorową związaną z fotowoltaiką, Zakład skoncentrował swe prace na regulatorach ładowania akumulatorów instalacji PV. Są one wykonywane dwiema metodami: bardziej skomplikowaną i droższą metodą cyfrową oraz tańszą, lecz o niższej klasie dokładności i jakości działania metodą analogową. Po zapoznaniu się z potrzebami rynku oraz po uzyskaniu znacznego doświadczenia w projektowaniu i wytwarzaniu licznych wersji regulatorów uznano za konieczne opracowanie ekonomicznego wariantu regulatora, który mógłby być konkurencyjny pod względem jakości i ceny wobec zbliżonych rozwiązań europejskich i azjatyckich. Założono, że cena jednostkowa zbytu regulatora nie powinna przekroczyć 10€. Ograniczyło to zakres swobody projektowania i zmusiło do wyboru konstrukcji analogowej.

Opis podstawowego rozwiązania regulatora w wersji RSS-07

Przyjęto uproszczoną zasadę bezpośredniego połączenia modułu fotowoltaicznego i akumulatora bez udziału przetwornicy i niestosowania metody automatycznego wyszukiwania punktu mocy maksymalnej MPPT. Schemat ideowy pełnej wersji regulatora przedstawiono na rys. 19. Ponadto z tytułu uproszczenia systemu sterowania procesem ładowania akumulatora zastosowano tzw. równoległą metodę regulacji prądu poprzez zwieranie na krótko modułu fotowoltaicznego niskoprężnym tranzystorem mocy $T1$. Akumulator jest zabezpieczony przed samorozładowywaniem się w nocy przez nieoświetlony moduł za pomocą wprowadzonej w obwód ładowania zaporowej diody mocy $D1$.



Rys. 19. Schemat pełnej wersji regulatora ładowania RSS-07

Obciążenie jest włączane na napięcie akumulatora za pomocą oddzielnego, drugiego tranzystora mocy $T2$. Włączenie obciążenia jest możliwe wyłącznie w warunkach dostatecznego stanu naładowania akumulatora, za jaki uznano poziom wyższy od 12,6 V (25,2 V). Obciążenie zostaje automatycznie odłączone z chwilą, gdy w wyniku nadmiernego rozładowania napięcie akumulatora opadnie poniżej ok. 11,1 V (22,2 V), tzn. poniżej wartości granicznej zagrażającej jego zasiarczeniem i uszkodzeniem. Wznowienie zasilania obciążenia przez akumulator następuje automatycznie po doładowaniu do poziomu 12,6 V (25,2 V). Oba te progi – niższy i wyższy – są wyznaczone działaniem histerezy napięciowej, zainstalowanej w dyskrzynatorze napięcia, zbudowanym na jednym z czterech wzmacniaczy operacyjnych wchodzących w skład jedyne go obwodu scalonego użytego w regulatorze RSS-07. Napięcie wyjściowe tego dyskrzynatora służy do wysterowywania tranzystora mocy przeznaczonego do automatycznego włączania obciążenia oraz równocześnie do uruchomienia jednego z dwóch świateł sygnalizacyjnych regulatora. Światło zielone świadczy o stopniu naładowaniu akumulatora bliskim pełnemu i o możliwości jego obciążania. Światło czerwone sygnalizuje odłączenie obciążenia z powodu spadku napięcia akumulatora poniżej 11,1 V (22,2 V), a jednocześnie nieosiągnięcie jeszcze poziomu naładowania 12,6 V (25,2 V) umożliwiającego włączenie obciążenia i sygnalizatora zielonego.

Elektronika regulatora jest zasilana z akumulatora poprzez jednotranzystorowy stabilizator 9 V z diodą Zenera. Stabilizator zasilą obwód scalony zawierający cztery wzmacniacze operacyjne oraz drugi stabilizator napięcia 5,6 V z diodą Zenera $D10$. Napięcie to z kolei jest wzorcowym napięciem odniesienia dla kilku istotnych progów zadziałania i sygnalizacji w regulatorze, których bazą jest stały poziom 4,0 V, ustalany przy uruchomieniu za pomocą potencjometra nastawnego $P1$.

W podstawowym rozwiązaniu regulatora w wersji 07 oraz w wersji pochodnej 010 zastosowano automatyczny układ przełącznikowy napięcia instalacji 12 V lub 24 V. Użyto jednego ze wzmacniaczy operacyjnych ($U1C$) w układzie wtórnika, wyposażonego w precyzyjny dzielnik napięcia 1:2 na wejściu. Na wyjściu wtórnika pojawia się zawsze połowa napięcia akumulatora 12 V, a więc nominalnie 6 V. Wahania tej połowy napięcia stają się przedmiotem wykrywania i stosownych reakcji układu regulatora. W przypadku instalacji o nominalnym napięciu 24 V samoczynnie włącza się tranzystorowy zwieracz $T4$ dzięki działaniu diody Zenera $D7$ i powoduje zmianę podziału wejściowego dzielnika napięcia wtórnika $U1C$. Zmiana podziału z 1:2 na 1:4 powoduje, że napięciem wyjściowym wtórnika pozostaje nadal nominalnie 6 V z odnośnymi wahaniem i tej wartości. Dzięki temu układ wykrywania poziomu napięcia akumulatora i wahań tego poziomu pozostaje taki sam zarówno dla 12 V, jak i dla 24 V nominalnego napięcia instalacji.

Przedmiotem regulacji w układzie RSS-07 jest prąd ładowania akumulatora o zalecanej wartości nieprzekraczającej 5 A, przy czym granicznymi wartościami napięć akumulatora dozorowanymi przez regulator są wartości maksymalne 14,5 V (29 V) dla akumulatorów zwykłych lub 14,1 V (28,2 V) dla żelowych oraz wartość główna

i utrzymywana w dłuższej perspektywie eksploatacji, tj. 13,7 V (27,4 V). Zastosowano specjalną procedurę ładowania, zgodnie z którą po każdym rozładowaniu akumulatora do poziomu 12,5 V (25 V), a więc jeszcze odległym od dopuszczalnego, ponowne doładowanie ma miejsce do poziomu wysokiego, tj. 14,5 V (29 V) lub 14,1 V (28,2 V). Wraz z jego osiągnięciem proces ładowania zostaje przerwany i wznowiony dopiero po samorzutnym lub wywołanym spadku napięcia akumulatora nieco poniżej 13,7 V (27,4 V). Wznawianie i przerywanie ładowania jest już kontynuowane natychmiast w nieograniczonym czasie wokół tej bezpiecznej wartości dla akumulatora, a zarazem zapewniającej stan niemal 100-procentowego naładowania. Tego rodzaju dwustopniowość pułapu napięć ładowania jest korzystna zarówno dla szybkości naładowania, jak i dla stanu oraz trwałości akumulatora.

Najważniejszą część regulatora stanowi specjalny układ detekcji wspomnianych dwóch newralgicznych pułapów napięciowych, z których niższy jest zawsze uzależniony od uprzedniej realizacji pułapu wyższego. Ta logika priorytetu oraz dyskryminacja poziomów napięciowych są zrealizowane za pomocą dwóch wzmacniaczy operacyjnych (*U1A* i *B*) obwodu scalonego. W warunkach procesu ładowania akumulatora, począwszy od jego niskich napięć przez początkowy okres ich wzrostu wyjście *U1A* jest niskie, przez co napięcie wejściowe wzmacniaczy *U1A* i *B* jest obniżone na skutek podziału *R13/R18*. Wyjście wzmacniacza *U1B* również pozostaje w stanie niskim, przez co tranzystor *T1* nie przewodzi, umożliwiając kontynuację procesu ładowania. W miarę wzrostu napięcia akumulatora pierwszym w kolejności wzmacniaczem o wyjściu skokowo przechodzącym w stan wysoki jest *U1A*. Ten stan wysoki oznacza odłączenie rezystora *R18*, pogłębiając rozrównoważenie *U1A* i powodując przeskok wyjścia *U1B* w stan wysoki. Efekt ten zachodzi przy wyższym z dwóch pułapów, tzn. przy 14,5 V (29 V) lub 14,1 V (28,2 V) zależnie od typu użytego akumulatora, a więc i od wartości rezystora *R18*. Przy stanie wysokim wyjścia *U1B* następuje zwarcie tranzystora *T1* i zaprzestanie procesu ładowania. Gdy na skutek samoistnego rozładowania lub rozładowania obciążeniem napięcie akumulatora opadnie poniżej progu 13,7 V (27,4), wtedy wyjście *U1B* znów stanie się niskie umożliwiając wznowienie procesu ładowania. Wartość tego progu jest stale nadzorowana i utrzymywana do czasu aż na skutek zewnętrznego rozładowania lub braku ładowania napięcie akumulatora opadnie do poziomu 12,5 V (25 V), a tym bardziej do 11,1 V (22,2 V). Wówczas to wznowiony proces ładowania zakończy się zawsze na wyższym pułapie, tzn. 14,5 V lub 14,1 V (29 V lub 28,2 V) i dopiero z tego pułapu podąży w dół do pułapu roboczego, tj. 13,7 V (27,4 V).

Istotną cechą regulatora RSS-07 i pochodnych jest zastosowanie temperaturowej kompensacji współczynnika $-4 \text{ mV}^\circ\text{C}$ /cełę charakterystycznego dla akumulatorów kwasowych. W tym celu w dzielniku stabilizowanych napięć wzorcowych dla porównawczych wejść wzmacniaczy *U1A* i *B* zastosowano dwie szeregowo połączone diody krzemowe o łącznym współczynniku temperaturowym struktur $4,6 \text{ mV}^\circ\text{C}$, zredukowanym za pomocą dzielnika do wartości występującej w akumulatorach. Dzięki temu progi lub pułapy napięciowe charakterystyczne dla regulatora w umownej tempe-

raturze 25°C są automatycznie dostosowywane do wymagań akumulatora w dowolnej temperaturze otoczenia.

Regulatory rodziny RSS są w pełni zabezpieczone przed odwrotnym omyłkowym włączeniem oraz zamianą tak modułu fotowoltaicznego, jak i akumulatora. Zastosowana idea konstrukcyjna może być łatwo rozszerzona na znacznie większe prądy i moce regulowane jedynie w drodze wprowadzenia radiatorów, niektórych półprzewodników o wyższej obciążalności i większej obudowy.

Podstawowe parametry rodziny regulatorów typu RSS są następujące:

- przeznaczenie: do instalacji fotowoltaicznych 12 V lub (i) 24 V (zależnie od wersji);
- prądy wejściowe i wyjściowe: ≤ 5 A;
- progi regulacji (w temperaturze +25°C):
 - podstawowy 13,7 V \pm 0,1 V (27,4 V \pm 0,2 V);
 - wysoki 14,5 V \pm 0,1 V (29 V \pm 0,2 V) lub 14,1 V \pm 0,1 V (28,2 V \pm 0,2 V);
 - resetowania 12,5 V \pm 0,2 V (25 V \pm 0,4 V);
- progi sygnalizacji świetlnej:
 - zielony $\geq 12,6$ V \pm 0,2 V (25,2 V \pm 0,4 V);
 - czerwony $\leq 11,1$ V \pm 0,2 V (22,2 V \pm 0,4 V);
- wymiary: 134 \times 26 \times 38 mm;
- masa: ok. 120 g.

2.5. Modyfikacja stanowiska do badań neurowszczepów pasywnych

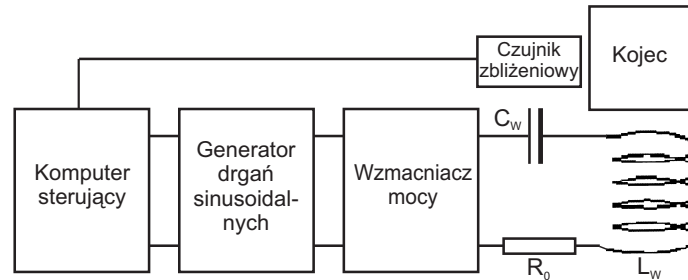
Od 2001 r. w Katedrze Patofizjologii Collegium Medicum UJ są przeprowadzane doświadczenia sterowania układu wegetatywnego szczura za pomocą opracowanych w Zakładzie neurowszczepów. Są to:

- sterowanie za pomocą neurostymulatora autonomicznego (neurowszczepy aktywne),
- sterowanie za pomocą neurostymulatora zasilanego i sterowanego polem elektromagnetycznym (neurowszczepy pasywne).

Obecnie badania koncentrują się na sterowaniu łaknięciem szczura przez pobudzenie jego nerwu błędnego odpowiednio dobranymi impulsami elektrycznymi. W doświadczeniach stosowano stymulację całodobową. W przypadku neurowszczepów aktywnych stymulacja obejmowała również okres rekonwalescencji zwierzęcia po operacji wszczepienia stymulatora. W przypadku neurowszczepów pasywnych w okresie rekonwalescencji pooperacyjnej szczur nie był poddawany stymulacji. Ze względu na konstrukcję zarówno neurowszczepu, jak i stanowiska badawczego neurowszczepy pasywne umożliwiają zmianę parametrów sygnału stymulującego w trakcie badania. Możliwe jest również stymulowanie np. tylko w dzień lub tylko w nocy, zależnie od wymagań prowadzącego badania.

Cel modyfikacji stanowiska badawczego

Zespół prowadzący badania postawił wymaganie, aby możliwa była rejestracja każdego zbliżenia się zwierzęcia do zasobnika żywności i wyzwalanie stymulatora według zadanej sekwencji po zbliżeniu do zasobnika. Takie rozwiązanie umożliwi ograniczenie do niezbędnego minimum wpływu pola elektromagnetycznego na organizm zwierzęcia. Realizacja tej koncepcji wymagała zmiany konstrukcji kojca, w którym przebywają zwierzęta, oraz zmiany oprogramowania komputera sterującego. Na rys. 20 przedstawiono schemat blokowy dla zmodernizowanej wersji stanowiska badawczego.



Rys. 20. Schemat blokowy zmodyfikowanego urządzenia generującego pole magnetyczne

Do generacji zmiennego pola magnetycznego wykorzystano sterowany komputerem zestaw złożony z generatora drgań sinusoidalnych, wzmacniacza mocy i szeregowego obwodu RLC zestrojonego do rezonansu szeregowego. Indukcyjność L w tym obwodzie stanowi cewka nawinięta na zewnętrznej ścianie kojca, w którym znajdują się badane zwierzęta. Konstrukcja kojca zapewnia utrzymanie w jego wnętrzu jednorodnego pola elektromagnetycznego oraz identyfikację zwierzęcia zbliżającego się do zasobnika z żywnością. Dwie pionowe równoległe ścianki z laminatu szkło-epoksyd tworzą rodzaj korytarza o szerokości umożliwiającej dojście do żywności tylko jednemu zwierzęciu (zwykle w kojcu przebywają jednocześnie cztery szczury). Na przeciwległych ściankach tego korytarza zamontowano nadajnik i odbiornik podczerwieni usytuowane w taki sposób, aby zbliżenie do zasobnika żywności (pobranie pokarmu) powodowało przecięcie wiązki podczerwieni.

W eksperymencie założono, że pobranie pokarmu przez zwierzę będzie wyzwalalo zaprogramowaną sekwencję impulsów drażniących nerw wegetatywny za pomocą neurowszczepu pasywnego. Zbliżenie szczura do zasobnika pokarmu powoduje przecięcie wiązki podczerwieni. Zdarzenie to zostaje zarejestrowane przez komputer i wywołuje generację zaprogramowanej sekwencji przebiegów pola magnetycznego oraz generację siły elektromotorycznej o zadanym kształcie w neurowszczepie pasywnym. Przewiduje się, że po zebraniu doświadczeń z tak zmodyfikowanym systemem stymulacji nastąpi przejście do rejestracji indywidualnych porcji pokarmu pobranego przez poszczególne zwierzęta. Ze względu na to, że szczur jest zwierzęciem stadnym i źle znosi odosobnienie, nie jest możliwe rozwiązanie najprostsze, czyli prowadzenie doświadczeń na pojedynczych zwierzętach umieszczonych w oddzielnych klatkach.

2.6. Technologia montażu z zastosowaniem stopów bezołowiowych

Obligatoryjne wprowadzenie technologii lutowania układów elektronicznych z wykorzystaniem lutów bezołowiowych jest praktyczną realizacją zapisów Dyrektywy 2002/95/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dn. 27 stycznia 2003 r. w sprawie ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektronicznym i elektrycznym (Dyrektywa RoHS – Directive on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z dn. 6 października 2004 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących ograniczenia wykorzystywania w sprzęcie elektronicznym i elektrycznym niektórych substancji mogących negatywnie oddziaływać na środowisko od 1 lipca 2006 r. w wytwarzanym i wprowadzanym do obrotu sprzęcie elektronicznym i elektrycznym nie mogą być wykorzystywane ołów, rtęć, kadm, sześciowartościowy chrom, a także polibromowane bifenyle PBB oraz polibromowane etery difenylowe PBDE. Zgodnie z Decyzją Komisji Europejskiej z dn. 18 sierpnia 2005 r., stanowiącą załącznik do Dyrektywy, zostały określone maksymalne wartości koncentracji niebezpiecznych substancji w sprzęcie: wagowo na poziomie 0,01% w materiałach jednorodnych dla kadmu oraz 0,1% dla wszystkich pozostałych. Mimo że ołów przeznaczony do produkcji sprzętu elektrycznego i elektronicznego stanowi tylko 1,5 – 2% jego światowego zużycia, ilość odpadów jest coraz większa ze względu na coraz szybsze powstawanie nowych generacji sprzętu. Dlatego konieczne jest poszukiwanie alternatywnych, bezołowiowych technologii montażu elektronicznego.

Na obecnym etapie opracowania skoncentrowano się na aplikacji i badaniu połączeń lutowniczych wykonanych przy użyciu różnego rodzaju past bezołowiowych typu SAC. Przygotowane w dwóch podstawowych wersjach obwody testowe były poddane wybranym narażeniom techno-klimatycznym, a jako parametr weryfikujący jakość połączeń przyjęto siłę ścinającą. Dokonano również przeglądu i analizy stosowanych w technologii lutowania bezołowiowego powłok lutowniczych, z których dwie, a mianowicie ENIG oraz ImmSn, sprawdzono później w praktyce.

Analiza własności bezołowiowych stopów lutowniczych typu SAC(Sn/Ag/Cu)

Wytypowany do zastosowania bezołowiowy stop lutowniczy powinien spełniać następujące wymagania:

- własności eutektyczne;
- niska rezystancja;
- dobre własności mechaniczne, wysoka niezawodność, dobra zwilżalność, kompatybilność z istniejącym wyposażeniem, nieszkodliwość dla środowiska;
- możliwie niska cena.

Rezultatem wieloletnich prac międzynarodowych grup badawczych, jak NEMI, IDEALS czy JEITA, było wytypowanie trójskładnikowego eutektyka Sn/Ag/Cu (SAC) jako bezołowiowego zamiennika stopu Pb/Sn. Zalecane składy to

Sn-[3,0-4,0]Ag-[0,5-0,9]Cu. Niewielkie różnice w składach stopów nie mają większego wpływu na ich parametry, ważne jest, że mogą być stosowane zarówno w lutowaniu rozpliwowym, ręcznym, jak i za pomocą fali. W porównaniu do eutektyka Pb/Sn stopy SAC mają następujące wady:

- wyższa temperatura topnienia (217°C),
- niższa gęstość ($7,44\text{ g/cm}^3$ – PbSn: $8,4$),
- znacznie wyższa cena ($2,5 \times \text{PbSn}$),
- gorsza zwilżalność,
- gorsza odporność na działanie bakterii, grzybów i środowiska morskiego.

O wyborze stopów SAC spośród innych stopów zdecydowały następujące przesłanki:

- temperatura topnienia, chociaż znacznie wyższa od Pb/Sn, jednak wyraźnie niższa od temperatury topnienia „konkurencyjnych” stopów, np. $\text{Sn}_{0,7}\text{Cu}_{0,05}\text{Ni}$ oraz $\text{Sn}_{0,7}\text{Cu}$ - 227°C ;
- duża czystość stopu z uwagi na występowanie tylko trzech składników;
- łatwość wytwarzania stopu;
- nieopatentowanie stopu, z wyjątkiem kilku składników;
- niezawodność spoin porównywalna lub nawet lepsza niż dla stopów Pb/Sn.

Dotychczasowe doświadczenia zdobyte w trakcie praktycznej aplikacji stopów wskazują, że najbardziej krytycznym procesem jest lutowanie na fali. Oprócz tego, że należy używać całkowicie nowych generacji urządzeń (duża zawartość cyny w stopie powoduje bardzo szybką destrukcję wanien metalowych), sprawą krytyczną staje się utrzymanie czystości stopu. Składniki stopu mają zdolność do tworzenia faz międzymetalicznych Ag_3Sn i Cu_6Sn_5 oraz dendrytów Sn. Miedź z obwodów drukowanych może rozpuszczać się w kąpeli podobnie jak ołów z wyprowadzeń i pokryć powodując poważną degradację spoin. Niezwykle ważne jest niedopuszczenie do przypadkowego użycia komponentów lub obwodów pokrytych stopami ołowiu. Dodatkowo ołów tworzy potrójny eutektyk Sn/Pb/Ag o temperaturze mięknięcia 179°C . Stop ten otacza ziarna stopu bezołowiowego, w wyniku czego pogarsza się adhezja lutowia. Zanieczyszczenie kąpeli lutowniczej może oznaczać konieczność jej wymiany i stratę średnio ok. 30 000 zł.

Na świecie najczęściej są stosowane stopy SAC, drugie miejsce zajmują stopy Sn/Cu. Ich wadą jest o 10°C wyższa temperatura topnienia, a zaletą blisko dwukrotnie niższa cena jednostkowa.

Analiza powłok lutowniczych w aspekcie ich przydatności w technologii lutowania bezołowiowego

Nanoszone na polach lutowniczych obwodów drukowanych powłoki lutownicze odgrywają podstawową rolę w procesie lutowania. W ostatnich latach duże znaczenie zdobyła metoda HASL (Hot Air Solder Leveling) polegająca na zdmuchiwaniu i wyrównywaniu nadmiaru spoiwa z pokrytych w kąpeli pól lutowniczych. Wzrost wymagań, jaki w stosunku do obwodów drukowanych wymusił rozwój tech-

nologii montażu powierzchniowego, był powodem rozwoju powłok alternatywnych. Zaliczają się do nich:

- zabezpieczenie organiczne – Organic Solderability Preservative (OSP),
- niklowanie bezprądowe/złocenie chemiczne – Electroless Nickel/Immersion Gold (ENIG),
- cynowanie chemiczne – Immersion Sn (ImmSn),
- srebrzenie chemiczne – Immersion Ag (ImmAg).

Zalety i wady poszczególnych powłok zestawiono w tab. 4.

Tabela 4. Porównanie własności różnego rodzaju powłok lutowniczych					
	HASL	OSP	ENIG	ImmSn	ImmAg
Płaskość powierzchni	niedobra	dobra	dobra	dobra	dobra
Fazy międzymetaliczne	Cu-Sn	Cu-Sn	Ni-Sn	Cu-Sn	Cu-Sn
Styk do pomiarów In-Circuit	dobry	brak	dobry	dobry	dobry
Bonding	niemożliwy	niemożliwy	Al	niemożliwy	Au, Al
Cena	1 x €	0,7 x €	3 x €	0,8 x €	0,8 x €
Maksymalna ilość cykli lutowania rozplwowego	6	2	6	2 – 3	6
Przydatność do użycia (miesiące)	18	6	24	6	12

Stosowanie metody HASL do pokrywania powierzchni pól lutowniczych stopami bezołowiowymi, takimi jak SnCu, SnCuNi czy SnAgCu jest w pełni realne. Przydatność tej metody w stosunku do stopów PbSn jest mocno ograniczona. Jej stosowanie ogranicza nierówna powierzchnia pól lutowniczych i stosunkowo wysoka cena. W praktyce jednak mniejsza gęstość stopów bezołowiowych powoduje blisko dwukrotne zmniejszenie grubości pokrycia do ok. 25 μm , co w istotny sposób redukuje koszty. Wadą tej metody jest również konieczność podwyższenia do ok. +270°C temperatury kąpieli lutowniczej, co nie pozostaje bez wpływu na jakość podłoża.

Znaczną popularność, wynikającą głównie ze stosunkowo niskiej ceny, osiągnęły organiczne powłoki typ OSP. Metoda polega na pokryciu pola lutowniczego cienką (0,2 ÷ 0,6 μm), nieusuwalną warstwą lakieru zabezpieczającego powierzchnię miedzi przed utlenianiem. W czasie lutowania jest ona pod wpływem temperatury i top-

ników rozpuszczana i niszczone. Do jej wad należą stosunkowo krótka żywotność powłok, mniejsza odporność termiczna i, dla pewnych przypadków, brak przewodzenia nałożonej warstwy, a co za tym idzie brak możliwości pomiarowych pola lutowniczego. Metoda zyskała jednak duże powodzenie w produkcji wielkoseryjnej, gdzie praktycznie nie występuje konieczność magazynowania komponentów.

Dobre są powłoki typu ENIG, zwłaszcza jeżeli chodzi o płaskorównoległość pól lutowniczych i ich trwałość. Na wytrawione w miedzi pola lutownicze w kąpeli galwanicznej w obecności katalizatora nanoszona jest warstwa niklu, a następnie w innej kąpeli warstwa złota. W wyniku tych reakcji chemicznych powstaje powłoka grubości ok. 5 μm Ni/0,1 μm Au. Warstwa złota, mimo że bardzo dobrze zabezpiecza pole lutownicze przed wpływami zewnętrznymi, zapewnia im bardzo dobre własności rezystancyjne i stykowe, a także długotrwałą i bardzo dobrą lutowność, jest porowata i krucha. Powłoki te nie zawierają zanieczyszczeń jonowych, dobrze współpracują z większością topników, ale są stosunkowo drogie. Wadą powłok jest również tendencja do występowania zjawiska tzw. „czarnych pól kontaktowych”, obszarów położonych w obrębie pól lutowniczych o barwie od brązu do czerni, charakteryzujących się słabą lutownością i niską wytrzymałością mechaniczną połączeń. Przyczyną tego zjawiska jest powstawanie na powierzchni warstw Ni, najczęściej wskutek nieprawidłowej kąpeli galwanicznej, obszarów o dużej zawartości fosforu, w wyniku czego w procesie lutowania powstaje m. in. faza międzymetaliczna Ni_3P degradująca połączenie lutownicze.

Powłoki lutownicze wykonane z nakładanej chemicznie cyny (ImmSn) stają się obecnie popularną alternatywą dla powłok typu HASL. Jak widać z danych zestawionych w tab. 5, charakteryzują się one płaską powierzchnią, dobrą lutownością i stosunkowo niską ceną. Grubość warstwy nie przekracza 1 μm , lecz jest ona czuła na tworzenie faz międzymetalicznych, utlenianie się oraz ma tendencję do tworzenia dendrytów. Niewielka grubość powłoki, mająca korzystny wpływ na jej cenę, może powodować wzrost faz międzymetalicznych Cu_6Sn_5 oraz Cu_3Sn , a w konsekwencji utlenienie warstwy. Wadą powłoki jest stosunkowo krótka przydatność do użycia.

Powłoki lutownicze wykonane z chemicznie nakładanego srebra (ImmAg) są powszechnie stosowane zwłaszcza na rynku amerykańskim. Warstwa srebra ma grubość 0,1 ÷ 0,2 μm , a proces jej nakładania jest łatwy do kontroli. Wadą metody jest wrażliwość srebra na działanie występujących w powietrzu siarki i chloru, co przejawia się żółknięciem powierzchni. W efekcie prowadzi to do zmniejszenia lutowności.

Innym, bardzo istotnym czynnikiem dla jakości procesu lutowania bezołowiowego są powłoki lutownicze wyprowadzeń elementów elektronicznych. Pierwsze elementy przystosowane do lutowania bezołowiowego zostały wprowadzone do obrotu w 2000 r. Powłoki te muszą spełniać następujące wymagania:

- akceptowalna temperatura topnienia,
- dobra lutowność,

Tabela 5. Podstawowe parametry past lutowniczych					
Rodzaj pasty lutowniczej	Omnix 310	Indium 241	Cobar CUAG-XM3S	Multicore LF 300	Omnix 5100
Skład stopu lutowniczego	96,5Sn/ 3,0Ag/0,5Cu	95,5Sn/ 3,8Ag/0,7Cu	95,5Sn/ 4Ag /0,5Cu	95,5Sn/ 3,8Ag /0,7Cu	62Sn/ 36Pb /2Ag
Zawartość metalu [ciężar %]	88	89,3	89,1	88,5	90
Uziarnienie [μm]	25 ÷ 45	25 ÷ 45	25 ÷ 45	25 ÷ 45	25 ÷ 75
Temperatura mięknięcia [$^{\circ}\text{C}$]	217	217	217	217	183
Temperatura maksymalna [$^{\circ}\text{C}$]	230 ÷ 240	229 ÷ 250	232 ÷ 250	235 ÷ 250	210 ÷ 225
Czas obróbki termicznej powyżej temperatury mięknięcia TAL [s]	40 ÷ 70	30 ÷ 90	25 ÷ 60	30 ÷ 45	45 ÷ 70
Trwałość pasty na szablonie [h]	> 8	> 8	> 15	> 20	> 8
Prędkość druku [mm/s]	25 ÷ 150	25 ÷ 50	25 ÷ 120	25 ÷ 150	25 ÷ 150
Grubość szablonu [mm]	0,1 ÷ 0,15	0,1 ÷ 0,15	0,125 ÷ 0,20	0,1 ÷ 0,15	0,1 ÷ 0,15
Lepkość [P]	–	2300	1800	1265	2600

- wysoka adhezja i wytrzymałość mechaniczna,
- niska rezystancja,
- możliwość wykonywania napraw,
- niska cena.

Obecnie ok. 24% rynku tego typu powłok należy do czystej cyny. Stosowana jest ona zarówno w elementach przewlekanych, jak i SMD. Do jej wad należy zaliczyć tendencje do tworzenia dendrytów, mogących w efekcie prowadzić do zwarć między sąsiednimi wyprowadzeniami, oraz zmiany strukturalne zachodzące w niskich temperaturach. Około 11% rynku należy do powłok SnAgCu, które najczęściej są stosowane w wyprowadzeniach kulistych np. układów BGA. Stosowane są także powłoki AuNi, Ag, SnBi, PdNi oraz SnCu.

Wybór past lutowniczych

Efektom prowadzonych od lat prac badawczych nad spoiwami bezołowiowymi są pasty lutownicze przeznaczone do stosowania w technologii montażu powierzchniowego. Są one przewidziane do nakładania na pola lutownicze układów elektronicznych metodą sitodruku przez metalowe szablony lub sita. Do dalszych badań wybrano następujące pasty: Indium 241 (Indium Corporation), Cobar CUAG-XM 3S (Cobar), Multicore LF300 (Henkel Loctite) oraz Omnix 5100 (Cookson Electronics).

Podstawowe parametry tych past zostały zestawione w tab. 5. Jak widać każda z czterech past typu SAC bazuje na stopie lutowniczym o nieco różniącym się od pozostałych składzie. Nie wpływa to w sposób istotny na wielkość podstawowych ich parametrów, takich jak temperatura topnienia czy profil pieca. Należy przypuszczać, że jest to raczej wynik uwarunkowań typu patentowego lub marketingowego. Różnice w składzie past, szczególnie w zakresie użytych topników, powodują istotne różnice wielkości, np. lepkości czy żywotności pasty na szablonie. Nie zauważono znaczącego wpływu tych parametrów na jakość nadrukowanych pól lutowniczych obwodów testowych.

Wykonanie obwodów testowych

W celu sprawdzenia jakości spoin wykonanych przy użyciu różnych past lutowniczych wykonano dwa rodzaje obwodów testowych: jeden na podłożu szklano-epoksydowym (A), a drugi na podłożu ceramicznym (B). Obwody miały identyczne topologie i były nadrukowane na podłożach 2" × 2". Obwód A został wykonany w tradycyjnej technologii trawienia płytek drukowanych przy zastosowaniu podłoża grubości 1,6 mm laminowanych folią miedzianą grubości 32 μm. W obwodach zastosowano trzy różne rodzaje nakładanych powłok: HASL, ENIG oraz ImmSn. Obwód B został wykonany w technologii grubowarstwowej z wykorzystaniem dwóch rodzajów past przewodzących: platynowo-srebrzej QS-171 firmy DoPont oraz palladowo-srebrzej wyprodukowanej przez Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych. Pasty były nadrukowane na podłożach ceramicznych 96% Al₂O₃ przez sito 260 mesh i wypalone w temperaturze 850°C.

Obwody testowe z przylutowanymi rezystorami typu LFP (z elektrodami bezołowiowymi) zostały podzielone na kilka części, a ich pola lutownicze nadrukowane czterema, wcześniej wytypowanymi bezołowiowymi pastami lutowniczymi. W celach porównawczych część obwodów nadrukowano konwencjonalną pastą lutowniczą PbSn, przy czym pola lutownicze były pokryte stopem lutowniczym PbSn metodą HASL. Pasty lutownicze nadrukowano poprzez metalowy szablon grubości 0,15 mm. Wykorzystując urządzenie do układania elementów SMD typu Quadra firmy TWS ułożono na płytkach rezystory: 24 szt. typu 1206 oraz 25 szt. typu 0805 na każdym podłożu. Do przylutowania rezystorów został użyty profesjonalny, trzy-strefowy piec konwekcyjny SMT 460 C. Profile termiczne pieca dla każdej pasty lutowniczej odpowiadały parametrom z tab.5.

Wyniki badań

Obwody testowe po wykonaniu procesu lutowania zostały poddane badaniu wizualnemu na stanowisku optycznym Mantis. Nie było istotnych różnic w składzie chemicznym poszczególnych past, ale zaobserwowano różnice w wyglądzie powierzchni spoin – były one w zależności od rodzaju pasty mniej lub bardziej błyszczące. Mimo że nie stwierdzono żadnego związku między tym zjawiskiem a badaną później siłą ścinającą, znaczna część odbiorców preferuje błyszczące połączenia lutownicze ze względu na ich podobieństwo do klasycznych lutów PbSn.

W porównaniu do lutów PbSn najlepszą jakość powierzchni spoin osiągnięto dla pasty Indium 241 naniesionej na podłożach szklano-epoksydowych i ceramicznych z wyjątkiem obwodów nadrukowanych pastą cermetową PdAg. Połączenia wykonane pastą Cobar na wszystkich rodzajach podłoży i ścieżkach, łącznie z wykonanymi pastą PdAg, miały jednolity kształt i wygląd, ale ich powierzchnia była bardziej matowa. Powierzchnie lutów wykonanych pastami Omnix i Multicore były wyraźnie bardziej chropowate od pozostałych.

Każdy z rodzajów obwodów podzielono na cztery grupy i poddano narażeniom:

- wibracje: $10 \div 500$ Hz, maksymalne przyspieszenie 10 g, maksymalna amplituda 3,5 mm, 3×6 h;
- suche gorąco stałe: $+140^{\circ}\text{C}$, 100 h;
- nagłe zmiany temperatury: $-20/+125^{\circ}\text{C}/100$ cykli po 0,5 h.

Analizując wyniki pomiarów można stwierdzić, że generalnie siła ścinająca połączeń lutowniczych wykonanych lutami bezołowiowymi była na poziomie $75 \div 85\%$ siły ścinającej lutów PbSn dla podłoży szklano-epoksydowych oraz odpowiednio $65 \div 70\%$ dla podłoży ceramicznych. Spoiny wykonane lutami bezołowiowymi dla podłoży szklano-epoksydowych wykazały o ok. 15% wyższy poziom siły ścinającej niż analogiczne spoiny na podłożach ceramicznych. Siła ścinająca spoin wykonanych na podłożach szklano-epoksydowych z wykończeniem ImmSn była ok. 15% wyższa niż z wykończeniem ENIG, podobnie jak w przypadku podłoży ceramicznych dla spoin na ścieżkach PtAg w stosunku do ścieżek PdAg. Wyniki prób po narażeniach wykazały generalnie niewielki spadek poziomu siły ścinającej, przy czym większy spadek tej siły zaobserwowano dla spoin na podłożach ceramicznych. Wyniki badań dla wszystkich rodzajów past należy uznać za pozytywne.

Wnioski

Aplikacja różnego rodzaju bezołowiowych past lutowniczych typu SAC do obwodów drukowanych nie wpłynęła w istotny sposób na jakość spoin, niemniej zaobserwowano znaczne różnice w zakresie stanu ich powierzchni.

Szczególną uwagę należy zwrócić przy doborze rodzaju pasty lutowniczej do aplikacji w układach hybrydowych, gdyż w niektórych przypadkach zaobserwowano znaczący spadek poziomu siły ścinającej w wyniku narażeń technoklimatycznych.

Należy zwrócić uwagę, że takie parametry, jak lepkość, kleistość czy trwałość na szablonie, których wielkości w sposób istotny różnią się dla poszczególnych past lutowniczych, mają poważny wpływ na jakość nadruku pasty na pole lutownicze.

Uzyskany niższy poziom siły ścinającej przy znacząco wyższej cenie powłok typu ENIG w porównaniu do ImmSn wskazuje, że o ile nie zachodzi jakaś dodatkowa okoliczność, np. możliwość długotrwałego składowania obwodów czy stosowania w nich technologii bondingu, celowe i ekonomicznie uzasadnione jest stosowanie powłok cynowych.

Zastosowane procesy metalizacji pól kontaktowych PCB i układów hybrydowych, wytypowane stopy lutownicze niezawierające ołowiu oraz parametry profilu pieca do lutowania rozpliwowego stanowią podstawę wdrożonego w ITE procesu montażu z wykorzystaniem stopów bezołowiowych

2.7. Prototypy, nowe technologie, wdrożenia, sprzedaż

Wdrożono technologię lutowania bezołowiowego umożliwiającą świadczenie usług montażowych MiSP oraz prowadzenie szkoleń i praktyk.

Opracowano konstrukcję i technologię wytwarzania ceramicznych obudów fotodetektorów dla odbiorcy zagranicznego.

Uruchomiono produkcję nowej wersji zasilacza awaryjnego dla systemów kominowych na potrzeby odbiorców rynkowych.

Opracowano projekt i wykonano elementy elektroluminescencyjne bazujące na luminoforach proszkowych dla firm: OPUS B oraz Tęcza Sp. z o.o. w Krakowie.

Opracowano konstrukcję regulatorów ładowania akumulatorów RSS 07- RSS 12 i wykonano prototypy dla firmy Sunflower Farm.

Opracowano konstrukcję i uruchomiono produkcję ośmiu typów grzejników wytwarzanych kompozytową pastą przewodzącą na podłożach poliestrowych dla producentów podgrzewanych lusterek samochodowych.

Wartość sprzedaży prac badawczych Zakładu wyniosła w 2005 r. 401 750 PLN, a usług i produkcji 246 661 PLN.

3. Współpraca międzynarodowa

Brano udział w 5. Programie Ramowym Unii Europejskiej: Sieć tematyczna w ramach 5. PR „Competitive and Sustainable Growth” – Polar Electroceramics POLECER, nr kontraktu G5RT-CT-2001-05024.

Współpracowano w ramach projektów CRAFT przy opracowaniu projektu europejskiego ”Biomedical Monitoring and Simulation System (WEBMOSS 2005)” zgłoszonego na konkurs FP6-2004-SME-COOP.

Publikacje'2005

- [P1] CIEŻ M., ŁUKASIK A. M., ZARASKA W., PORADA Z.: The Influence of Crystalline Phosphors Features on the Parameters of Electroluminescent Capacitors. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówko, 19–21.09.2005, s. 303–306.
- [P2] DZIURDZIA B., MAGOŃSKI Z., NOWAK S., JANKOWSKI H., GREGORCZYK W.: Influence of Thin Oxide and Other Coverings of Alumina Substrates upon Edge Curl and Shrinkage Reduction of Fodels. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówko, 19–21.09.2005, s. 311–314.
- [P3] GANDURSKA J., ŚNIEŻYŃSKA I., MAREK A., SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., GROEGER B.: Warstwy elektroizolacyjne na podłożach stalowych do elektronicznych układów mocy. *Elektronika* 2005 nr 4 s.18–20.
- [P4] GROEGER B., SKWAREK A., SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., NOWAK S.: Properties of Conductive Strontium Cerium Manganate Ceramics. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówko, 19–21.09.2005, s. 333–336.
- [P5] GRZESIAK W.: Comparative Study of Charge Regulators Features During Long-Term Exploitation Tests. Proc. of the 20th Europ. Photovoltaic Solar Energy. Barcelona, Hiszpania, 6–10.06.2005, s. 2281–2283.
- [P6] GRZESIAK W.: Implementation of MPPT Algorithms in Microprocessor Solar Charge Regulators. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówko, 19–21.09.2005, s. 179–182.
- [P7] GRZESIAK W., CIEŻ M., MAJ T., CHOJNACKI J., TENETA J.: Data Acquisition System for Long-Term Measurements in Photovoltaic Arrays. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówko, 19–21.09.2005, s. 183–186.
- [P8] GRZESIAK W., CIEŻ M., MAJ T., WITEK K., ZARASKA W.: Advanced Current Sources for Supply of High Brightness LED Lamps. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówko, 19–21.09.2005, s. 263–266.
- [P9] GRZESIAK W., CIEŻ M., MAJ T., ZARASKA W., CHOJNACKI J., TENETA J., SŁABOŃ A., WIETRZNY K.: Projektowanie i kryteria doboru komponentów autonomicznych systemów fotowoltaicznych do zasilania diod LED dużej mocy. III Konf. LED+PV, Warszawa-Międzylesie, 19.04.2005, CD s. 1–28.
- [P10] GRZESIAK W., CIEŻ M., NOWAK S., ZARASKA K., SŁABOŃ A.: Innovative System for Experimental Development of White LED Lamps. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówko, 19–21.09.2005, s. 259–262.
- [P11] GRZESIAK W., CIEŻ M., ZARASKA W., CHOJNACKI J., TENETA J., SŁABOŃ A., WIETRZNY K.: High Power LEDs in Photovoltaic Autonomous Systems. Barcelona, Hiszpania, 6–10.06.2005, s. 2192–2195.
- [P12] JONAS S., NADACHOWSKI F., SZWAGIERCZAK D., WÓJCIK G.: Thermal Expansion of CaAl_4O_7 -Based Refractory Compositions Containing MgO and CaO Additions. *J. of the Europ. Ceramic Soc.* (zgł. do druku).
- [P13] KASZUBA-ZWOIŃSKA J., GILA K., ZIOMBER A., ZARASKA W., PAWLICKI R., KRÓLCZYK G., MATYJA A., THOR P. J.: Loss of Interstitial Cells of Cajal after Pulsating Electromagnetic Field (PEMF) in Gastrointestinal Tract of the Rats. *J. of Physiol. a. Pharmacol.* 2005 vol. 56 nr 3 s. 421–432.
- [P14] KLIMIEC E., NOWAK S., ZARASKA W., STOCH J.: Influence of TiO_2 on the Structure, Resistance and Electrical Stability of Bulk Resistors Operating in High Voltage (15 kV) Impulse Circuits. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówko, 19–21.09.2005, s. 337–340.

- [P15] KULAWIK J., SZWAGIERCZAK D., GROEGER B.: High Permittivity Thick Films Based on $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Ta}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ - PbTiO_3 Solid Solutions. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 325–328.
- [P16] KULAWIK J., SZWAGIERCZAK D., GROEGER B.: Preparation and Characterization of Lead-Free Layers for Thick Film Capacitors. Proc. of the Electro-Active Materials and Sustainable Growth Conf. – EMSG. Abbaye Les Vaux de Cernay, Francja, 23–25.05.2005 (w druku.)
- [P17] ŁASZCZ A., KĄTCKI J., RATAJCZAK J., CIEŻ M., PLUSKA M.: Electron Microscopy Characterisation of ZnS:Cu:Cl Phosphorus. Proc. of Microscopy of Semiconducting Materials, Oxford, Wielka Brytania, 11–14.04.2005, s. 495–498.
- [P18] ŁUKASIK A., NOWAK S., WITEK K.: Polymer-Silver Layers as Car Mirrors Heating Elements. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 275–278.
- [P19] ŁUKASIK A. M., PRUSZOWSKI Z., FILIPCZYK M.: Polymer-Silver Resistive Activation Layers in the Chemical Ni-P Metallization Process. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 283–286.
- [P20] ŁUKASIK A. M., WITEK K., CIEŻ M.: Defrosting Rate of Car Mirrors Heated by Polymer Microcomposite Layers. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 279–282.
- [P21] MAGOŃSKI Z., DZIURDZIA B., NOWAK S.: Fabrication of Micro-Fluidic Devices with Fodel Dielectric. Proc. of 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 369–372.
- [P22] PROCHOWICZ W., CIEŻ M., KĄTCKI J., ŁASZCZ A., ŁUKASIK A. M., RATAJCZAK J., PORADA Z.: The Influence of Supply Voltage Parameters on Ageing Process of Thick-Film Electroluminescent Light Sources. Proc. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 239–242.
- [P23] SKWAREK A., SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., GROEGER B.: Synthesis and Resistance-Temperature Characteristics of Perovskite Ceramics for NTC Thermistors. Proc. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 231–234.
- [P24] SZWAGIERCZAK D., GROEGER B., KULAWIK J., SKWAREK A.: Preparation and Characterization of $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{MnO}_3$ Thick Films for Electrode Layers. Proc. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 329–332.
- [P25] SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J.: Influence of MnO_2 and Co_3O_4 Dopants on Dielectric Properties of $\text{Pb}(\text{Fe}_{2/3}\text{W}_{1/3})\text{O}_3$ Ceramic. *J. of the Europ. Ceramic Soc.* 2005 vol. 25 nr 9 s. 1657–1662.
- [P26] SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., GROEGER B.: Preparation and Characterization of Lead Iron Tantalate Thick Films. *J. of the Europ. Ceramic Soc.* 2005 vol. 25 nr 12 s. 2133–2136.
- [P27] SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., GROEGER B.: Dielectric Behavior of Lead Iron Tantalate – Lead Titanate Ceramics. *J. de Physique IV France* 2005 vol. 128 s. 133–137.
- [P28] WITEK K., SKWAREK A., CIEŻ M., GRZESIAK W.: Influence of Conformal Coatings on High Frequency Electronic Circuits Subjected to Increased Humidity Tests. Proc. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 251–254.
- [P29] WITEK K., SKWAREK A., GRZESIAK W., ZARASKA W.: Analysis of Technological Factors Influencing on PB-Free Solder Joints Quality. Proc. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 115–118.
- [P30] ZARASKA K., CIEŻ M., THOR P., ZARASKA W.: The Concept of the Simulation Station and Passive Neuroimplants. Proc. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłówo, 19–21.09.2005, s. 295–298.

[P31] ZARASKA W., THOR P., LIPIŃSKI M., CIEŻ M., GRZESIAK W., POZĄTEK J., ZARASKA K.: Design and Fabrication of Neurostimulator Implants – Selected Problems. *Microelectron. Reliab.* 2005 vol. 45 s. 1930–1934.

Konferencje'2005

[K1] CIEŻ M., ŁUKASIK A. M., ZARASKA W., PORADA Z.: The Influence of Crystalline Phosphors Features on the Parameters of Electroluminescent Capacitors. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K2] DZIURDZIA B., MAGOŃSKI Z., NOWAK S., JANKOWSKI H., GREGORCZYK W.: Influence of Thin Oxide and Other Coverings of Alumina Substrates upon Edge Curl and Shrinkage Reduction of Fodols. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K3] GROEGER B., SKWAREK A., SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., NOWAK S.: Properties of Conductive Strontium Cerium Manganate Ceramics. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K4] GRZESIAK W.: Comparative Study of Charge Regulators Features During Long-Term Exploitation Tests. 20th Europ. Photovoltaic Solar Energy. Barcelona, Hiszpania, 6–10.06.2005 (kom.).

[K5] GRZESIAK W.: Implementation of MPPT Algorithms in Microprocessor Solar Charge Regulators. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K6] GRZESIAK W., CIEŻ M., MAJ T., CHOJNACKI J., TENETA J.: Data Acquisition System for Long-Term Measurements in Photovoltaic Arrays. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K7] GRZESIAK W., CIEŻ M., MAJ T., WITEK K., ZARASKA W.: Advanced Current Sources for Supply of High Brightness LED Lamps. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K8] GRZESIAK W., CIEŻ M., MAJ T., ZARASKA W., CHOJNACKI J., TENETA J., SŁABOŃ A., WIETRZNY K.: Projektowanie i kryteria doboru komponentów autonomicznych systemów fotowoltaicznych do zasilania diod LED dużej mocy. III Konf. LED+PV, Warszawa-Międzyzlesie, 19.04.2005 (ref.).

[K9] GRZESIAK W., CIEŻ M., NOWAK S., ZARASKA K., SŁABOŃ A.: Innovative System for Experimental Development of White LED Lamps. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K10] GRZESIAK W., CIEŻ M., ZARASKA W., CHOJNACKI J., TENETA J., SŁABOŃ A., WIETRZNY K.: High Power LEDs in Photovoltaic Autonomous Systems. Barcelona, Hiszpania, 6–10.06.2005 (kom.).

[K11] KLIMIEC E., NOWAK S., ZARASKA W., STOCH J.: Influence of TiO_2 on the Structure, Resistance and Electrical Stability of Bulk Resistors Operating in High Voltage (15 kV) Impulse Circuits. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K12] KULAWIK J., SZWAGIERCZAK D., GROEGER B.: High Permittivity Thick Films Based on $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Ta}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ - PbTiO_3 Solid Solutions. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).

[K13] KULAWIK J., SZWAGIERCZAK D., GROEGER B.: Preparation and Characterization of Lead-Free Layers for Thick Film Capacitors. Electro-Active Materials and Sustainable Growth Conf. – EMSG. Abbaye Les Vaux de Cernay, Francja, 23–25.05.2005 (plakat).

[K14] ŁASZCZ A., KĄTCKI J., RATAJCZAK J., PŁUSKA M., CIEŻ M.: Electron Microscopy Characterization of ZnS:Cu:Cl Phosphors. Microscopy of Semiconducting Materials, Oxford, Wielka Brytania, 11–14.04.2005 (plakat).

- [K15] ŁUKASIK A., NOWAK S., WITEK K.: Polymer-Silver Layers as Car Mirrors Heating Elements. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K16] ŁUKASIK A. M., PRUSZOWSKI Z., FILIPCZYK M.: Polymer-Silver Resistive Activation Layers in the Chemical Ni-P Metallization Process. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K17] ŁUKASIK A. M., WITEK K., CIEŻ M.: Defrosting Rate of Car Mirrors Heated by Polymer Microcomposite Layers. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K18] MAGOŃSKI Z., DZIURDZIA B., NOWAK S.: Fabrication of Micro-Fluidic Devices with Fodel Dielectric. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K19] PROCHWICZ W., CIEŻ M., KĄTCKI J., ŁASZCZ A., ŁUKASIK A. M., RATAJCZAK J., PORADA Z.: The Influence of Supply Voltage Parameters on Ageing Process of Thick-Film Electroluminescent Light Sources. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K20] SKWAREK A., SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., GROEGER B.: Synthesis and Resistance-Temperature Characteristics of Perovskite Ceramics for NTC Thermistors. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K21] SZWAGIERCZAK D., GROEGER B., KULAWIK J., SKWAREK A.: Preparation and Characterization of $Sr_{1-x}Ce_xMnO_3$ Thick Films for Electrode Layers. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K22] SZWAGIERCZAK D., KULAWIK J., GROEGER B.: Dielectric Behavior of Lead Iron Tantalate – Lead Titanate Ceramics. Electro-Active Materials and Sustainable Growth Conf. – EMSG. Abbaye Les Vaux de Cernay, Francja, 23–25.05.2005 (plakat).
- [K23] WITEK K., SKWAREK A., GRZESIAK W., ZARASKA W.: Analysis of Technological Factors Influencing on PB-Free Solder Joints Quality. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K24] WITEK K., SKWAREK A., CIEŻ M., GRZESIAK W.: Influence of Conformal Coatings on High Frequency Electronic Circuits Subjected to Increased Humidity Tests. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K25] ZARASKA K., CIEŻ M., THOR P., ZARASKA W.: The Concept of the Simulation Station and Passive Neuroimplants. 29th Int. Conf. of IMAPS Poland. Koszalin-Darłowo, 19–21.09.2005 (plakat).
- [K26] ZARASKA K., ZARASKA W.: Design and Implementation of a Computerized Remote Alterting System for Disabled People. X Jubilee Int. Conf. Medical Informatics and Technologies, Ustroń, 20–22.10.2005 (plakat).

Patenty i zgłoszenia patentowe'2005

- [PA1] DUMANIA P., ZARASKA W.: Mostek tensometryczny do pomiaru małych naprężeń. Zgł. pat. nr P.378545 z dn. 28.12.2005.
- [PA2] STASIAK W., PLEWICKI L., ŚWIERSZCZ H., KNAPIK R., ZARASKA W., WITEK K.: Laryngofon piezoceramiczny. Pat. RP nr 190272.
- [PA3] ZARASKA W.: Detektor płomienia. Zgł. pat. nr P.378151 z dn. 28.11.2005.