

**Arkadiusz Domoracki**  
Politechnika Śląska, Gliwice

## CO TO JEST IMS?

### WHAT IS IMS?

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono możliwości zastosowania nowoczesnych materiałów bazowych, dedykowanych do produkcji silnoprądowych obwodów drukowanych, wykonanych na podłożu metalowym. Materiały te znalazły w świecie szerokie zastosowanie, szczególnie w branży automotive, w nowoczesnych instalacjach oświetleniowych LED oraz w niskonapięciowych przekształtnikach energoelektronicznych. W realiach krajowych zastosowanie tych materiałów ograniczało się dotychczas przede wszystkim do instalacji oświetleniowych. Wzbogacenie oferty wielu krajowych producentów obwodów drukowanych o obwody wykonane w technologii IMS powoduje, że zainteresowanie tą technologią wzrasta i pojawiają się nowe projekty, w których znajduje ona zastosowanie.

**Abstract:** The paper presents the possibility of using modern materials base, dedicated to the production of high-current PCB, made on a metal substrate. These materials were widely used in the world, especially in the automotive industry, the modern installations of LED lighting and low-voltage power electronic converters. The reality of the national use of these materials have so far limited mainly to lighting systems. Increasing the range of many domestic manufacturers of circuit boards made in IMS makes growing interest in this technology and develop new projects in which it applies.

**Słowa kluczowe:** silnoprądowe obwody drukowane, materiały z izolowanym podłożem metalowym  
**Keywords:** high-current printed circuit boards, insulate metal substrate materials

### 1. Wstęp

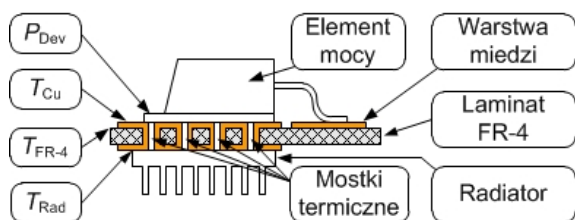
Jednym z istotnych wymogów, które są stawiane współczesnym urządzeniom technicznym, jest minimalizacja ich gabarytów. W obszarze elektroniki sygnałowej oraz elektroniki dużych mocy (energoelektroniki) wymóg ten można spełnić zastępując elementy przeznaczone do montażu przewlekanego (ang. through-hole technology, w skrócie THT) elementami montowanymi powierzchniowo (ang. surface mounted devices, w skrócie SMD). Projektowane w ten sposób urządzenia osiągają gabaryty nawet kilkukrotnie mniejsze niż ich „klasyczne” odpowiedniki. Pojawia się jednak istotny problem zwiększania objętościowej gęstości mocy, co z kolei wiąże się z koniecznością stosowania wysoce efektywnych metod odprowadzania ciepła. Obecnie powszechnie stosuje się różnego rodzaju radiatory z wymuszonym strumieniem powietrza lub wymuszonym przepływem cieczy i coraz częściej doposaża się je w dodatkowe elementy (np.: moduły Peltiera, rurki cieplne typu heat-pipe czy chłodzenie mikrokanałowe), które mają zwiększyć skuteczność działania całego systemu chłodzenia. I choć rozwiązania te sprawdzają się znakomicie w bardzo wielu przypadkach, to konstruktorzy urządzeń ciągle poszukują nowych,

wydajnych oraz relatywnie tanich sposobów odprowadzania ciepła.

### 2. Kilka słów o technologii klasycznej

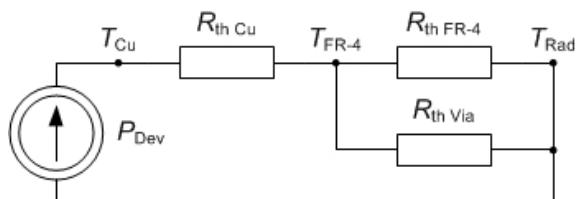
Podstawowym elementem konstrukcyjnym urządzeń elektrycznych/elektronicznych jest obwód drukowany (ang. printed circuit board, w skrócie PCB). Dzięki mozaice ścieżek miedzianych uzyskuje się pożądane połączenia elektryczne o stabilnych parametrach, a duża sztywność zastosowanego izolacyjnego materiału bazowego (najczęściej jest to laminat szklano-epoksydowy) gwarantuje jednoznaczne rozmieszczenie elementów elektronicznych względem siebie. W przypadku obwodów PCB dedykowanych do montażu elementów SMD należy uwzględnić jednak bardzo dużą rezystancję termiczną, którą cechuje się laminat. Przewodność cieplna właściwa (oznaczana symbolem  $\lambda$ ) masowo stosowanego laminatu typu FR-4 jest niewielka (osiąga zazwyczaj wartość 0,26 W/m·K), co utrudnia skuteczne odprowadzania ciepła z elementów SMD. W celu zmniejszenia rezystancji termicznej na drodze pomiędzy elementem SMD a radiatorem producenci podzespołów elektronicznych i energoelektronicznych zalecają stosowanie

mostków termicznych (rys. 1), których zadaniem jest bocznikowanie dużej rezystancji termicznej laminatu [1].



Rys. 1. Zastosowanie mostków termicznych w obwodzie PCB z elementami SMD

Ciepły schemat zastępczy takiego rozwiązania konstrukcyjnego (w stanie ustalonym) zamieszczono na rysunku 2. Ciepło wydzielane przez element oznaczono symbolem  $P_{Dev}$ , punkty  $T_{Cu}$ ,  $T_{FR-4}$  oraz  $T_{Rad}$  oznaczają odpowiednio temperatury miedzi, laminatu i temperaturę powierzchni radiatora, przylegającej do obwodu PCB. Rezystancję termiczną miedzi oznaczono jako  $R_{th\ Cu}$ , laminatu jako  $R_{th\ FR-4}$ , natomiast mostków termicznych (nazywanych również „przetokami termicznymi” – od angielskiej nazwy thermal vias) jako  $R_{th\ Via}$ .

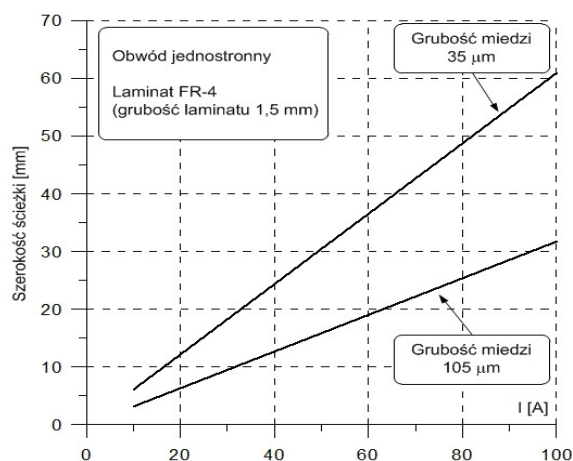


Rys. 2. Ciepły schemat zastępczy obwodu PCB wykonanego na bazie laminatu FR-4 z zastosowaniem mostków termicznych

Orientacyjne wartości rezystancji termicznej wynoszą:  $R_{th\ Cu} = 0,088\ K/W$  (1 mm<sup>2</sup> miedzi, grubość 35 μm),  $R_{th\ FR-4} = 5\ 770\ K/W$  (1 mm<sup>2</sup> laminatu typu FR-4, grubość 1,5 mm) oraz pojedynczego typowego mostku termicznego  $R_{th\ Via} = 1\ 200\ K/W$  (średnica otworu 0,5 mm, długość mostka 1,5 mm, grubość ściany mostka 30 μm, przewodność cieplna właściwa materiału mostka na poziomie 40 W/m·K). Zatem wykonany w technologii klasycznej obwód drukowany (1 mm<sup>2</sup>, grubość miedzi 35 μm, grubość laminatu FR-4 1,5 mm, jeden mostek termiczny) cechuje się wypadkową rezystancją termiczną na poziomie 993 K/W. Dla jednego elementu stosuje się jednocześnie wiele mostków, rozmieszczanych zgodnie z zaleceniami producentów. Skutkuje to oczywiście zmniejszeniem wypadkowej rezystancji termicznej. Dla przykładu: przy zastosowaniu 12 mostków

(rozwiązanie stosowane przy elementach w obudowach typu D2-PAK) uzyskuje się ich zastępczą rezystancję termiczną na poziomie około 100 K/W.

Pomimo stosowania mostków termicznych nadal pozostają dwa istotne problemy związane z temperaturą. Pierwszym z nich jest kwestia właściwego montażu oraz docisku zewnętrznego radiatora do obwodu PCB, którą rozwiązuje się stosując przewlekane połączenia śrubowe, bądź różnego rodzaju sprężyny dociskowe. Drugim problemem jest ograniczona obciążalność prądowa mozaiki połączeń samego obwodu PCB. W celu jej podniesienia stosuje się większe grubości miedzi (70, 105, a niekiedy nawet 300 μm) lub wzmacnia najbardziej obciążone prądowo fragmenty obwodu zewnętrznym przewodem. Przykładowe obciążalności prądowe ścieżek obwodu PCB, wykonanego w technologii klasycznej, zamieszczono na rysunku 3.



Rys. 3. Obciążalność prądowa ścieżek obwodu PCB wykonanego w technologii klasycznej (na podstawie [2])

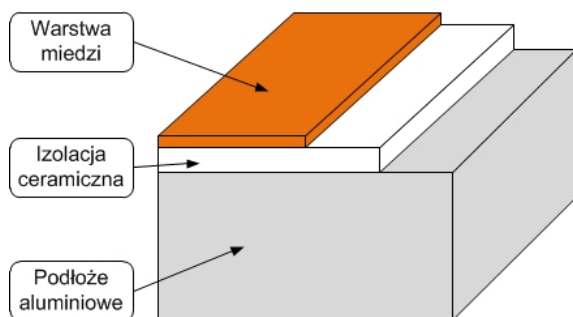
Wszystkie przedstawione powyżej rozwiązania pociągają za sobą wzrost stopnia komplikacji konstrukcji urządzeń, wpływają na wydłużenie czasu produkcji oraz podnoszą cenę. Dlatego konstruktorzy coraz chętniej sięgają po materiały, które pozwalają na konstruowanie obwodów PCB pozbawionych wyżej wymienionych wad.

### 3. Kilka słów o technologii IMS

Nowoczesnym rozwiązaniem technologicznym, które opracowano specjalnie do wykonywania silnopiędowych obwodów drukowanych z elementami w technologii SMD, są materiały o podłożu metalowym z izolacją ceramiczną

(ang. insulated metal substrate, w skrócie IMS). Materiały te są stosowane przez niektóre koncerny światowe nawet już od kilkunastu lat [2], [4], [7], [8]. W Polsce technologia IMS znajdowała dotychczas zastosowanie głównie przy produkcji wysokowydajnych źródeł światła, bazujących na diodach LED dużej mocy. Jednak od niedawna, kiedy krajowi producenci obwodów drukowanych poszerzyli swoją ofertę również o obwody wykonywane na bazie materiałów typu IMS (nazywając je często „laminatami na podłożu metalowym” lub „aluminiowym”), zainteresowanie tymi materiałami zaczyna wzrastać. Zwłaszcza wśród projektantów i konstruktorów urządzeń energoelektronicznych i elektronicznych.

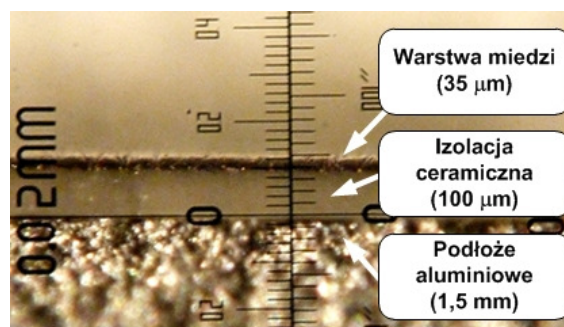
Materiał typu IMS składa się z trzech warstw: podłoża (najczęściej jest to płyta wykonana ze stopu aluminium, rzadziej płyta miedziana), izolacji elektrycznej (ceramika lub rzadziej warstwa laminatu szklano-epoksydowego) oraz warstwy folii miedzianej [2], [3], [4], [5], [6]. Podstawową strukturę materiału typu IMS pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Materiał typu IMS – struktura

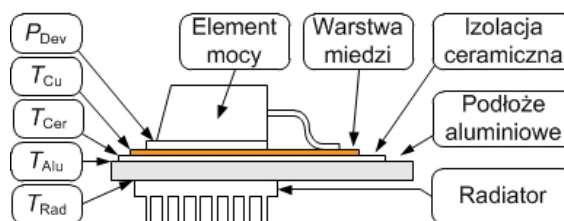
Warstwa miedzi, podobnie jak w klasycznej technologii, jest wykorzystywana do wykonania mozaiki połączeń (ścieżek) pomiędzy elementami. Oferowane obecnie przez producentów materiałów IMS grubości warstwy miedzi są analogiczne jak w przypadku laminatów szklano-epoksydowych i wynoszą 35, 70, 105, a nawet 350  $\mu\text{m}$ . Cienką warstwą izolacyjną jest najczęściej ceramika, charakteryzująca się przewodnością cieplną właściwą w zakresie od 0,8 W/m·K do 1,5 W/m·K [3]. Pomimo niewielkiej grubości warstwy ceramicznej, mieszczącej się w przedziale od 75 do 300  $\mu\text{m}$ , jej dopuszczalne napięcia pracy sięgają 500 V<sub>AC</sub> oraz 2 kV<sub>DC</sub> (napięcie przebicia 5 kV) [3]. Materiałem bazowym struktury IMS (nazywanym często również podłożem) jest płyta wykonana ze stopu aluminium. Jak wiadomo,

aluminium i jego stopy są znakomitymi przewodnikami ciepła – ich współczynnik  $\lambda$  kształtuje się na poziomie około 200 W/m·K. Zatem samo podłoże stanowi radiator nie tylko dla elementów elektronicznych, ale również dla mozaiki ścieżek obwodu PCB. Grubość podłoża we współczesnych materiałach IMS mieści się w przedziale od 0,5 nawet do 4,8 mm [4]. Na rysunku 5 zamieszczono zdjęcie przekroju materiału IMS, wykonane z użyciem mikroskopu o powiększeniu x50.



Rys. 5. Materiał typu IMS – widok przekroju (mikroskop o powiększeniu x50)

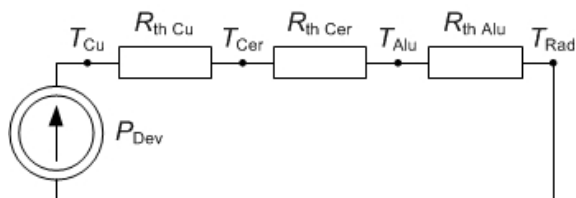
Przykład typowego umieszczenia elementu elektronicznego w technologii SMD na powierzchni obwodu drukowanego, bazującego na materiale z izolowanym podłożem metalowym, przedstawiono na rysunku 6. Natomiast na rysunku 7 zamieszczono cieplny schemat zastępczy, reprezentujący materiał IMS (w stanie ustalonym).



Rys. 6. Element SMD umieszczony na obwodzie drukowanym bazującym na materiale typu IMS

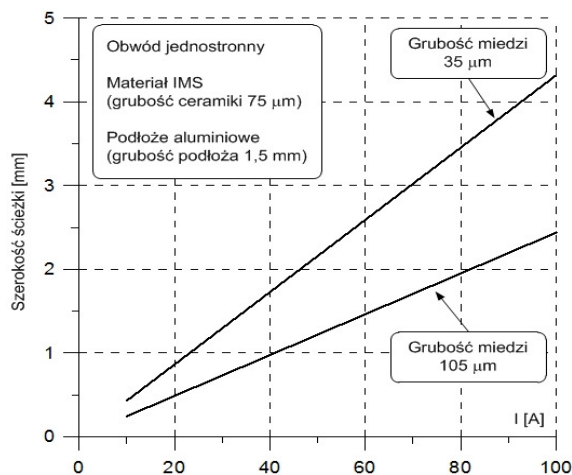
Na obu tych rysunkach ciepło wydzielane przez element elektroniczny oznaczono jako  $P_{Dev}$ , natomiast symbolami  $T_{Cu}$ ,  $T_{Cer}$ ,  $T_{Alu}$  oraz  $T_{Rad}$  oznaczono temperatury miedzi, warstwy ceramiki, podłoża aluminiowego oraz temperaturę powierzchni radiatora (przylegającej do obwodu PCB/IMS). Rezystancje z rysunku 7 reprezentują rezystancje termiczne: miedzi ( $R_{th,Cu}$ ), warstwy izolacji ceramicznej ( $R_{th,Cer}$ ) oraz podłoża aluminiowego ( $R_{th,Alu}$ ). Orientacyjna wartość rezystancji termicznej miedzi, przy założeniu powierzchni 1 mm<sup>2</sup> i grubości 35  $\mu\text{m}$ , kształtuje

się na takim samym poziomie, jak w przypadku technologii klasycznej ( $R_{th\ Cu} = 0,088\ K/W$ ). Rezystancja termiczna warstwy ceramicznej wynosi około  $R_{th\ Cer} = 87\ K/W$  ( $1\ mm^2$ , grubość  $100\ \mu m$ , przy założeniu przewodności cieplnej właściwej  $1,15\ W/m\cdot K$ ). Podłoże aluminiowe ( $1\ mm^2$ , grubość  $1,5\ mm$ , przewodność cieplna właściwa  $200\ W/m\cdot K$ ) charakteryzuje się rezystancją termiczną rzędu  $R_{th\ Alu} = 7,5\ K/W$ .



Rys. 7. Ciepły schemat zastępczy obwodu PCB wykonanego na bazie materiału IMS

Zatem dla  $1\ mm^2$  materiału IMS (grubość miedzi  $35\ \mu m$ , grubość ceramiki  $100\ \mu m$ , grubość podłoża aluminiowego  $1,5\ mm$ ) zastępcza rezystancja termiczna wynosi niespełna  $95\ K/W$ . Jednym ze skutków tak niskiej wartości rezystancji termicznej jest również zdecydowanie większa obciążalność prądowa mozaiki ścieżek obwodu drukowanego (rys. 8).

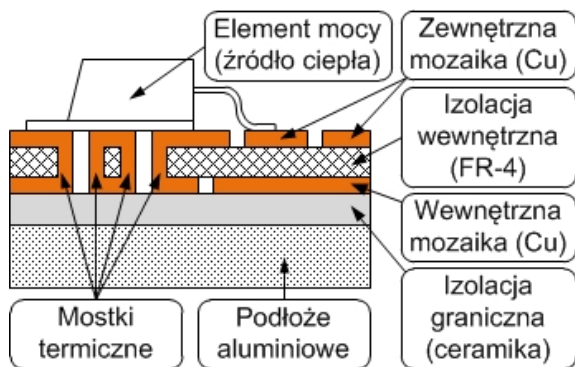


Rys. 8. Obciążalność prądowa ścieżek obwodu drukowanego wykonanego na bazie materiału IMS (na podstawie [2])

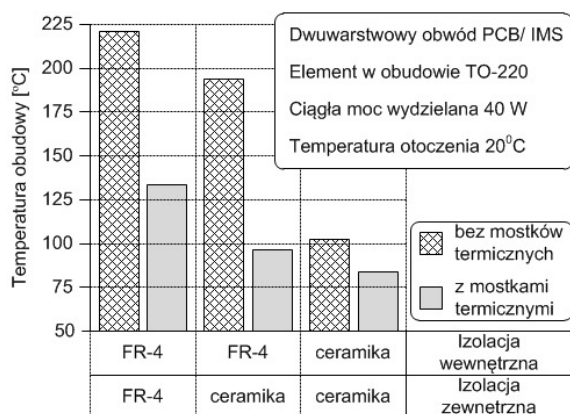
Materiał IMS zaprezentowany na rysunkach 4 oraz 5 umożliwia wykonywanie jedynie jednowarstwowych obwodów drukowanych. Niemniej wymaganie minimalizacji gabarytów urządzeń często wymusza zaprojektowanie na tyle skomplikowanej mozaiki połączeń między elementami, że jej realizacja jest możliwa tylko z wykorzystaniem obwodu wielowarstwowego. Czy jest to możliwe w technologii IMS?

#### 4. Wielowarstwowe materiały IMS

Wszyscy producenci obwodów drukowanych, którzy oferują technologię IMS, dysponują możliwościami wykonywania obwodów jednowarstwowych. Sprzyja temu przede wszystkim duża dostępność materiałów bazowych. Wytworzenie wielowarstwowego obwodu drukowanego na bazie materiału IMS nie jest jednak zadaniem łatwym. Dlatego obwody dwuwarstwowe w tej technologii znajdują się w ofercie już znacznie mniejszej liczby producentów. Obwody o większej liczbie warstw (np. obwody czterowarstwowe) oferują tylko nieliczni z nich. Warto przy tym zwrócić uwagę, że w przypadku obwodów wielowarstwowych wyróżnia się dwa rodzaje izolacji: izolację wewnętrzną, która oddziela poszczególne warstwy mozaiki ścieżek oraz izolację graniczną, która separuje elektrycznie cały obwód drukowany od metalowego podłoża. W wielowarstwowych materiałach IMS oba rodzaje izolacji mogą być wykonane z ceramiki lub z warstwy cienkiego laminatu typu FR-4 [2], [6]. Grubość warstwy izolacji z laminatu FR-4 to rząd w granicach  $100\ \mu m$ . Daje to rezystancję termiczną  $1\ mm^2$  tej warstwy na poziomie około  $385\ K/W$ . Co ciekawe, w jednym obwodzie do wykonania każdego z typów izolacji mogą zostać użyte różne materiały. Ze względów technologicznych izolację wewnętrzną łatwiej jest wykonać z laminatu. Wiąże się to niestety z pogorszeniem skuteczności transportu ciepła z elementów elektronicznych oraz z mozaiki ścieżek poszczególnych warstw do podłoża. Efektywność chłodzenia można zwiększyć stosując metodę podobną jak w klasycznych obwodach drukowanych, czyli mostki termiczne. Przekrój dwuwarstwowego obwodu PCB/IMS z zastosowaniem mostków termicznych przedstawiono na rysunku 9. Z kolei porównanie temperatury obudowy elementu elektronicznego, umieszczonego na dwuwarstwowym obwodzie PCB/IMS, przy różnych typach izolacji przedstawiono na rysunku 10. Jak można zauważyć, nawet w najbardziej niekorzystnym rozwiązaniu wielowarstwowego obwodu PCB/IMS (oba rodzaje izolacji wykonane z laminatu FR-4), stosowanie mostków termicznych wpływa wyraźnie na zwiększenie efektywności odprowadzania ciepła (obniżenie temperatury obudowy elementu).



Rys.9. Mostki termiczne w dwuwarstwowym obwodzie PCB/IMS

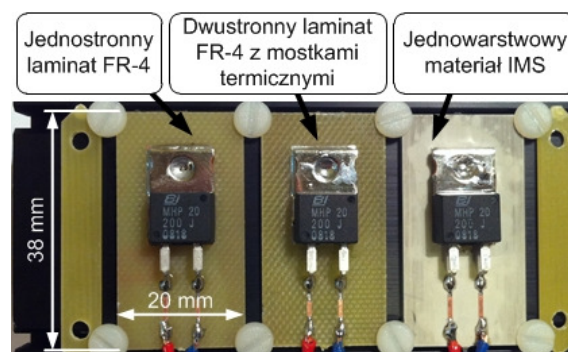


Rys.10. Temperatury elementu elektronicznego w zależności od typu zastosowanej izolacji wewnętrznej i zewnętrznej dwuwarstwowego obwodu PCB/IMS (na podstawie [2])

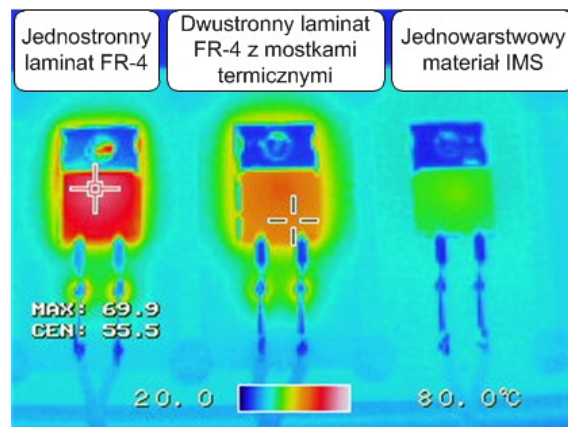
## 5. IMS kontra klasyczne obwody PCB

Rezystancja termiczna klasycznego obwodu drukowanego wynosi około 993 K/W (przy założeniu, że: powierzchnia 1mm<sup>2</sup>, grubość miedzi 35 μm, grubość FR-4 1,5 mm, jeden mostek termiczny). Wartość tego parametru dla obwodu bazującego na materiale IMS (powierzchnia 1mm<sup>2</sup>, grubość miedzi 35 μm, grubość ceramiki 100 μm, podłoże aluminiowe o grubości 1,5 mm) jest ponad 10 razy mniejsza i nie przekracza 95 K/W. Przy tak obniżonej rezystancji termicznej, zdecydowanie większa ilość ciepła wydzielanego przez elementy może być bardzo skutecznie odprowadzana do aluminiowego podłoża i dalej do zewnętrznego radiatora. Skutkiem tego rozkład temperatur w obwodzie PCB/IMS jest zdecydowanie bardziej równomierny, a temperatura samego elementu wydzielającego moc znacznie niższa. Dla zobrazowania różnic w rozkładzie temperatur przy zastosowaniu obwodów drukowanych wykonanych w różnych technologiach

(obwód jednowarstwowy, obwód dwuwarstwowy z mostkami termicznymi i obwód bazujący na materiale IMS) przeprowadzono eksperyment. Na jego potrzeby przygotowano trzy obwody PCB o takich samych wymiarach (38x20 mm) i o takiej samej mozaice połączeń (rys. 11). Na każdym obwodzie umieszczono rezystor w obudowie TO-220. Wszystkie obwody zasilono prądem stałym o jednakowym natężeniu i utrzymywano ciągłą moc 2 W na każdym z badanych rezystorów. Po uzyskaniu cieplnego stanu ustalonego wykonano zdjęcie kamerą termowizyjną (rys. 12).



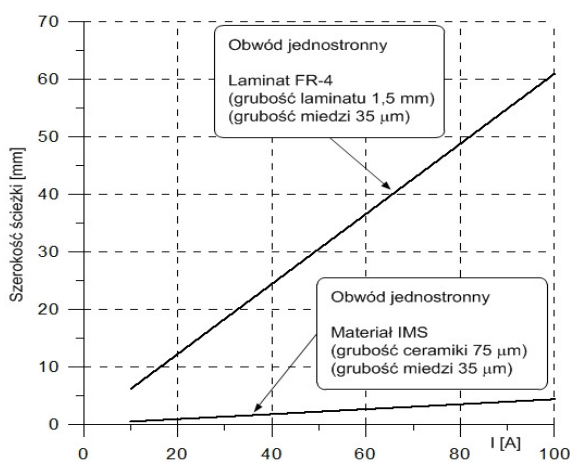
Rys. 11. Testowe obwody drukowane wykonane na bazie różnych materiałów



Rys. 12. Obraz termowizyjny obwodów drukowanych wykonanych w różnych technologiach (moc wydzielana na każdym elemencie równa 2 W)

Przeglądając się rozkładowi temperatur widać wyraźnie, że najgorszym przypadkiem jest laminat jednostronny. Rezystor na nim umieszczony osiągnął podczas testów najwyższą temperaturę (około 70°C), różnica temperatur ( $\Delta T$ ) między elementem, a otoczeniem (20°C) wynosiła 50°C, całe ciepło było oddawane do otoczenia jedynie przez obudowę elementu, a punkty lutownicze uzyskały najwyższe tempe-

ratury. Obwód dwustronny, dzięki zastosowaniu mostków termicznych, zapewniał lepsze odprowadzanie ciepła z elementu, gdyż w procesie chłodzenia brały udział powierzchnie miedzi umieszczone po obu stronach laminatu. Rezystor przylutowany do tego obwodu został podgrzany do niespełna  $60^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$ ). Obniżeniu uległa również temperatura punktów lutowniczych. Za najlepszy przypadek należy uznać obwód drukowany wykonany na bazie materiału IMS. Temperatura rezystora nie przekroczyła  $45^{\circ}\text{C}$ , zatem różnica temperatur między elementem i otoczeniem wyniosła tylko  $25^{\circ}\text{C}$ . Obwód PCB/IMS charakteryzował się najbardziej równomiernym rozkładem temperatur oraz najniższymi temperaturami mozaiki ścieżek i punktów lutowniczych. Zdecydowanie mniejsze temperatury ścieżek pozwalają na zwiększanie ich obciążalności prądowej. Rozpatrując problem od drugiej strony można stwierdzić, że przy zachowaniu tej samej obciążalności prądowej można projektować ścieżki obwodu o mniejszych szerokościach, co z kolei przenosi się na minimalizację gabarytów urządzenia.



Rys. 13. Obciążalności prądowe mozaiki ścieżek obwodów PCB w technologii klasycznej oraz na bazie materiału IMS (opracowano na podstawie [2])

## 6. Podsumowanie

Właściwości materiałów IMS predysponują je do produkcji silnoprądowych obwodów drukowanych, które charakteryzują się zdecydowanie

większymi objętościowymi gęstościami mocy. Stosowanie takich obwodów przyczynia się do obniżenia stopnia komplikacji konstrukcji, znacząco podnosi niezawodność oraz powoduje skrócenie czasu produkcji nowych urządzeń. Obecnie największym obszarem zastosowań materiałów IMS są źródła światła bazujące na diodach LED oraz przekształtniki i inne urządzenia stosowane w branży automotive. Materiały IMS znajdują również zastosowanie w przekształtnikach dedykowanych do napędów niskonapięciowych oraz jako podłoża przyrządów półprzewodnikowych dużych mocy i niektórych układów scalonych [4], [7], [8].

## 7. Literatura

- [1]. JEDEC STANDARD – Guidelines for Reporting and Using Electronic Package Thermal Information JESD51-12, Jedec Solid State Technology Association, May 2005.
- [2]. Thermal Clad® Selection Guide – Thermal Solutions for Surface Mount Power Applications. The Bergquist Company, January 2002.
- [3]. IMS COBRITHETM® Laminate and Prepreg – Improving heat management. Aismalibar S.A, Barcelona, Spain 2005.
- [4]. Thermal Clad® Selection Guide – Thermal Solutions For LEDs and Surface Mount Power Applications. The Bergquist Company, June 2011.
- [5]. Quick design guide for IMS technology. AUREL s. p. a, Modigliana, Italy 2012.
- [6]. IMS – Insulated Metal Substrate. NCAB Group, Bromma, Sweden 2009.
- [7]. AN-1597 – High Current Power Modules for Automotive using Max247TM Package with IMS Substrate Application Note. ST Microelectronics, November 2002.
- [8]. AN-1050 – DirectTEF® Technology Materials and Practices Application Note. International Rectifier-DirectFET® Technology, November 2010.

## Autor

dr inż. Arkadiusz Domoracki  
 Politechnika Śląska  
 Wydział Elektryczny  
 Katedra Ergoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki  
 ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice  
 e-mail: arkadiusz.domoracki@polsl.pl  
 tel.: 32-237-28-02