

# Materiały z izolowanym podłożem metalowym

Arkadiusz Domoracki

## 1. Wstęp

Do wymogów stawianych współczesnym urządzeniom elektronicznym bez wątpienia należy zaliczyć minimalizację gabarytów. Zarówno w elektronice sygnałowej, jak i w energoelektronice ograniczenie wymiarów urządzenia uzyskuje się, zastępując elementy przeznaczone do montażu przewlekane (ang. *through-hole technology*, w skrócie THT) elementami montowanymi powierzchniowo (ang. *surface mounted devices*, w skrócie SMD). Urządzenia projektowane w technologii SMD, oprócz mniejszych gabarytów, niższych kosztów i większej niezawodności, charakteryzują się również większą gęstością upakowania komponentów. Pomimo niewątpliwych zalet duże upakowanie komponentów niesie ze sobą kilka problemów, a jednym z nich jest zwiększenie objętościowej gęstości mocy. To z kolei wiąże się z koniecznością odprowadzania coraz większych ilości ciepła z coraz mniejszych kubatur urządzeń. I chociaż powszechne stało się stosowanie wysoko wydajnych technik odprowadzania ciepła (np.: radiatorów z wymuszonym strumieniem powietrza lub wymuszonym obiegiem cieczy chłodzącej, modułów Peltiera, rurek cieplnych typu *heat-pipe* czy chłodzenia mikrokanałowego), to konstruktorzy urządzeń ciągle poszukują nowych, wydajnych oraz relatywnie tanich sposobów rozwiązania tego problemu.


## 2. Klasyczna technologia PBC

Konstrukcja większości współczesnych urządzeń elektronicznych bazuje na obwodach drukowanych (ang. *Printed Circuit Board*, w skrócie PCB). Dzięki umieszczonej na nich jedno- lub wielowarstwowej mozaice ścieżek możliwe jest elektryczne połączenie poszczególnych komponentów urządzenia. Miedziane ścieżki zapewniają dobrą przewodność elektryczną, a wysoka sztywność izolacyjnego materiału bazowego (na przykład popularnego laminatu szklano-epoksydowego typu FR-4) gwarantuje stabilne oraz jednoznaczne rozmieszczenie elementów względem siebie. Niestety, przewodność cieplna właściwa ( $\lambda$ ) laminatu typu FR-4 jest niewielka i osiąga wartość na poziomie około  $0,26 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ . Utrudnia to skuteczne odprowadzanie ciepła z elementów SMD do radiatorów, umieszczonych po drugiej stronie laminatu. W celu zmniejszenia rezystancji termicznej pomiędzy elementem a radiatorem stosuje się mostki termiczne, tak jak pokazano to schematycznie na rysunku 1 [1].

Takiemu rozwiązaniu konstrukcyjnemu odpowiada ciepły schemat zastępczy, który (dla termicznego stanu ustalonego) zamieszczono na rysunku 2. Źródłem ciepła są straty wydzielane przez elektroniczny element mocy – oznaczono je symbolem  $P_{\text{Dev}}$ . W drodze do radiatora wytworzony strumień ciepła musi pokonać stosunkowo niewielką rezystancję termiczną ścieżki miedzianej ( $R_{\text{th,Cu}}$ ) oraz dużą rezystancję cieplną lami-

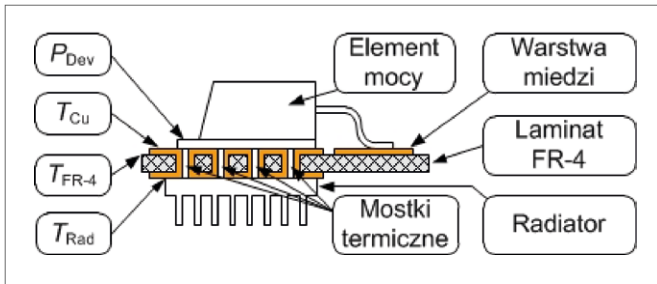
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono możliwości zastosowania nowoczesnych materiałów bazowych, dedykowanych do produkcji silnopiędowych obwodów drukowanych, wykonanych na podłożu metalowym (IMS). Jak dotąd podstawowym obszarem zastosowania materiałów typu IMS są nowoczesne instalacje oświetleniowe, wykorzystujące diody LED dużych mocy. Jako przykłady innych aplikacji można wymienić podzespoły dedykowane do szeroko rozumianej branży automotive czy obwody mocy niskonapięciowych, kompaktowych przekształtników energoelektronicznych. W realiach krajowych zastosowanie tych materiałów ograniczało się dotychczas również do instalacji oświetleniowych. Jednak wzbogacenie oferty wielu producentów obwodów drukowanych o technologię IMS oraz obniżenie jej kosztów przyczyniło się do opracowania nowych produktów, w których znalazła ona szersze zastosowanie.

Słowa kluczowe: silnopiędowe obwody drukowane, materiały z izolowanym podłożem metalowym

 **Abstract:** The paper presents the possibility of using modern materials base, dedicated to the production of high-current PCB, made on a metal substrate (IMS). So far, the primary area of application materials such as IMS are modern lighting systems, using high-power LEDs. As examples of other applications can replace components dedicated to the wider automotive industry or low-voltage power circuits, compact power converters. The realities of domestic use of these materials were previously confined to the lighting installations. However, many manufacturers offer enrichment PCB IMS technology and reduce its costs contributed to the development of new products in which it has found wider application.

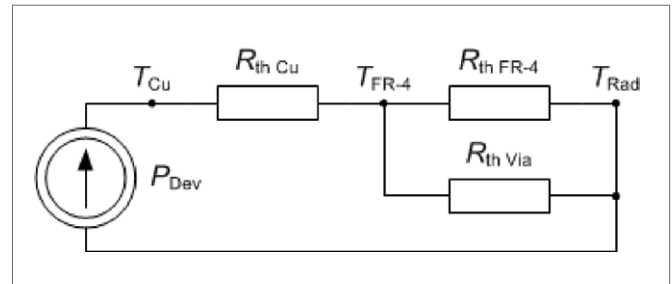
natu ( $R_{\text{th,FR-4}}$ ). Ta ostatnia jest zbocznikowana znacznie od niej mniejszą rezystancją mostków termicznych ( $R_{\text{th,Via}}$ ), które od angielskiej nazwy *thermal vias* nazywa się także przelotkami termicznymi. Temperaturę powierzchni miedzi oznaczono jako  $T_{\text{Cu}}$ , temperaturę powierzchni laminatu opisano symbolem  $T_{\text{FR-4}}$ , natomiast  $T_{\text{Rad}}$  symbolizuje temperaturę powierzchni radiatora.

Rezystancja termiczna ścieżki miedzianej, przy założeniu, że jej powierzchnia to  $1 \text{ mm}^2$ , a grubość  $35 \mu\text{m}$ , wynosi zaledwie  $0,088 \text{ K/W}$ . W porównaniu z nią rezystancja cieplna laminatu szklano-epoksydowego jest olbrzymia. Dla jednego  $\text{mm}^2$  powierzchni i grubości  $1,5 \text{ mm}$  osiąga ona wartość  $5770 \text{ K/W}$ .



Rys. 1. Mostki termiczne w obwodzie drukowanym z elementami do montażu powierzchniowego

Pojedynczy mostek termiczny, przy założeniu średnicy 0,5 mm, długości 1,5 mm, grubość ściany 30  $\mu\text{m}$  i przyjmując przewodność cieplną właściwą na poziomie 40  $\text{W/m}\cdot\text{K}$ , charakteryzuje się rezystancją termiczną rzędu 1200  $\text{K/W}$ . Wobec tego zastępcza rezystancja termiczna obwodu PCB, złożonego z trzech komponentów scharakteryzowanych powyżej, wyniesie około 993  $\text{K/W}$ . Oczywiście jest, że zwiększanie ilości mostków termicznych przyczynia się do zmniejszania wypadkowej rezystancji termicznej. Niestety stosowanie mostków termicznych coraz częściej nie zapewnia wymaganej zdolności przekazywania ciepła strat do radiatora zewnętrznego. Nie można nadmiernie zwiększać liczby przelotek termicznych, gdyż zarówno zmniejsza się wytrzymałość mechaniczną materiału, jak i ogranicza powierzchnię oddawania ciepła. Istotną kwestią pozostaje rów-

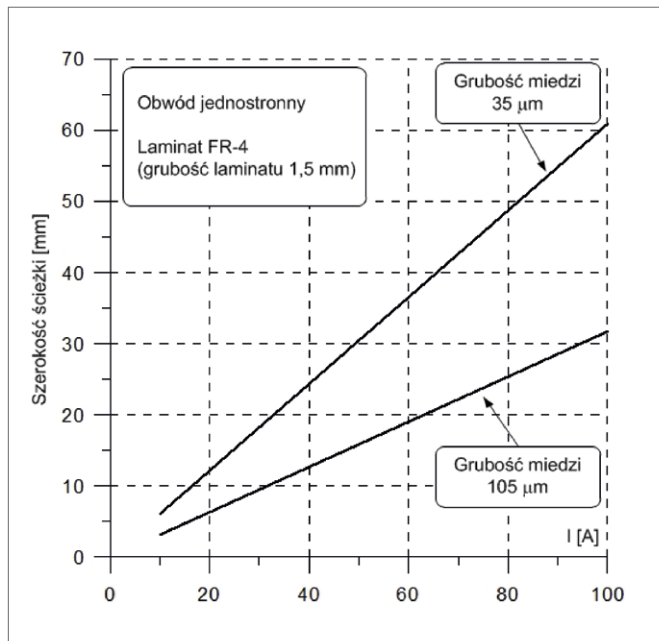


Rys. 2. Ciepłny schemat zastępczy klasycznego obwodu PCB z mostkami termicznymi

niez precyzyjny montaż oraz właściwa siła docisku radiatora do obwodu drukowanego. Kolejnym problemem jest dopuszczalna obciążalność prądowa mozaiki połączeń obwodu drukowanego. Można ją zwiększyć, stosując większe grubości miedzi (nawet do 300  $\mu\text{m}$ ), ale wiąże się z tym również konieczność zwiększenia odległości między ścieżkami oraz komponentami. To z kolei może ograniczyć stosowanie podzespołów o małych rastrach wyprowadzeń. Zależność obciążalności prądowej ścieżek od ich szerokości i grubości przedstawiono na rysunku 3.

### 3. Zarys technologii IMS

Współczesna technologia materiałowa przynosi szereg rozwiązań, które pozwalają konstruować wysoko sprawne urządzenia o minimalnych gabarytach. Jednym z przykładów takich

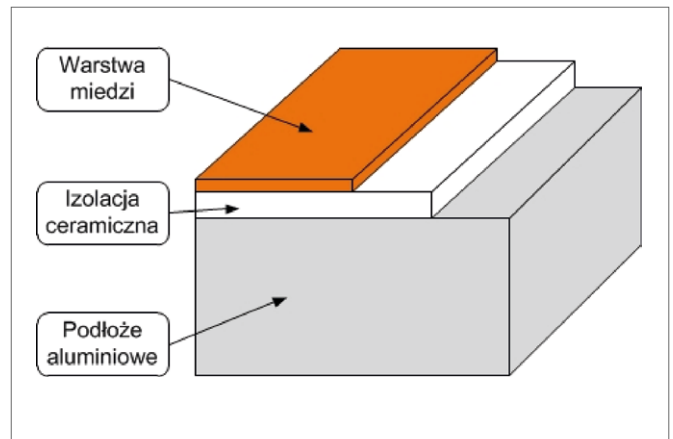


Rys. 3. Przykładowe obciążalności prądowe ścieżek obwodów PCB w technologii klasycznej (opracowano na podstawie [2])

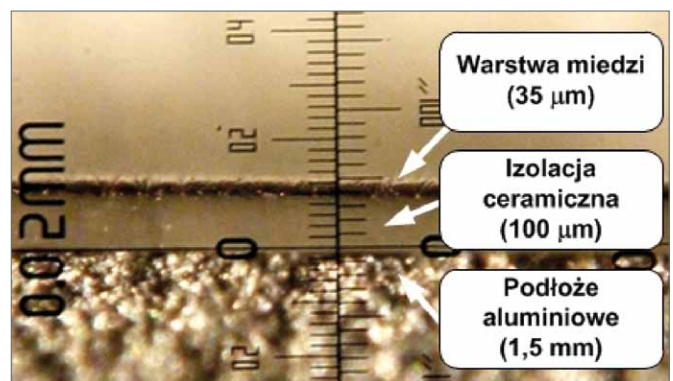
rozwiązań są materiały o podłożu metalowym z izolacją ceramiczną (ang. *Insulated Metal Substrate*, w skrócie IMS). Są one dedykowane do wykonywania silnoprądowych obwodów drukowanych z elementami w technologii SMD. Przez niektóre koncerny światowe materiały te są stosowane już od kilkunastu lat [2, 4, 7, 8]. Jednak w Polsce technologia IMS znajdowała dotychczas zastosowanie przede wszystkim przy produkcji wysoko wydajnych źródeł światła, bazujących na diodach LED dużej mocy. Od niedawna, kiedy również krajowi producenci obwodów drukowanych poszerzyli swoją ofertę o obwody wykonywane na bazie materiałów typu IMS, zainteresowanie tą technologią zaczyna wzrastać. W terminologii krajowej materiały IMS są często nazywane „laminatami na podłożu metalowym” lub „laminatami aluminiowymi”.

Materiał typu IMS składa się z trzech warstw: podłoża (płyta ze stopu aluminium), izolacji elektrycznej (ceramika) oraz miedzi [2, 3, 4, 5, 6]. Podstawową strukturę materiału IMS pokazano na rysunku 4, natomiast zdjęcie przekroju materiału IMS zamieszczono na rysunku 5.

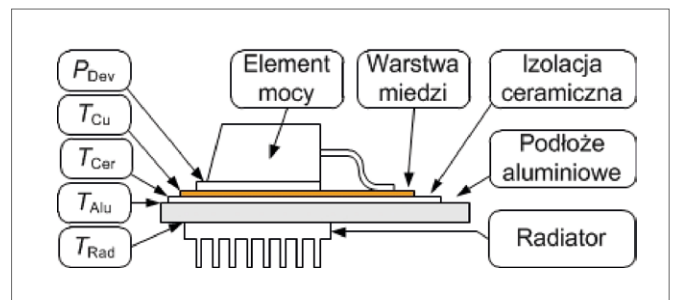
Warstwa miedzi wykorzystywana jest do wykonania mozaiki ścieżek. Grubości miedzi są analogiczne, jak w przypadku klasycznych laminatów szklano-epoksydowych (np. 35 µm). Cienką warstwą izolacyjną jest ceramika, charakteryzująca się przewodnością cieplną właściwą w przedziale od 0,8 do 1,5 W/m·K [3]. Rzadziej stosuje się izolację wykonaną z laminatu szklano-epoksydowego. Pomimo niewielkiej grubości warstwy ceramicznej (od 75 do 300 µm) jej dopuszczalne napięcia pracy sięgają 2 kV<sub>DC</sub> (napięcie przebicia 5 kV) [3]. Materiałem bazowym struktury IMS (nazywanym podłożem) jest płyta wykonana ze stopu aluminium (rzadziej jest to płyta miedziana). Grubość podłoża we współczesnych materiałach IMS kształtuje się w granicach od 0,5 do 4,8 mm [4]. Stopy aluminium są bardzo dobrymi przewodnikami ciepła. Ich współczynnik  $\lambda$  kształtuje



Rys. 4. Struktura materiału typu IMS

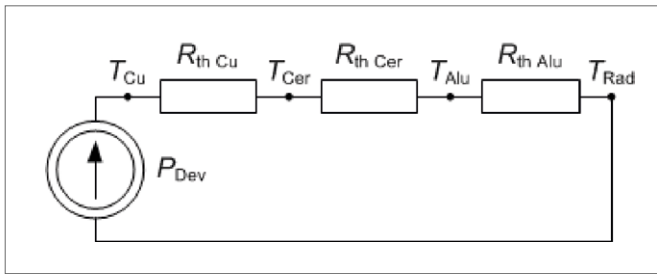


Rys. 5. Materiał IMS w przekroju (fotografia własna - mikroskop o powiększeniu 50x)

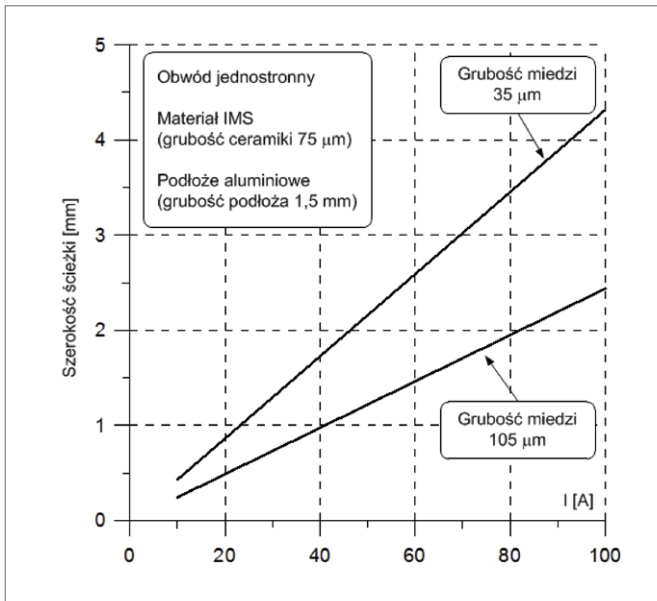


Rys. 6. Obwód drukowany wykonany na bazie materiału IMS

się na poziomie 200 W/m·K. Wobec tego samo podłoże stanowi radiator. I to nie tylko dla elementów elektronicznych, ale również dla mozaiki ścieżek obwodu PCB, co pozwala na znaczne zwiększenie ich obciążalności prądowej. W razie konieczności można zastosować również dodatkowy, zewnętrzny radiator tak, jak pokazano to na rysunku 6. Ciepłny schemat zastępczy (dla stanu ustalonego termicznie) odpowiadający takiemu rozwiązaniu przedstawiono z kolei na rysunku 7. Straty mocy wydzielane w postaci ciepła symbolizuje źródło  $P_{Dev}$ . Przez  $T_{Cu}$ ,  $T_{Cer}$ ,  $T_{Alu}$  oraz  $T_{Rad}$  oznaczono odpowiednio temperatury miedzi, ceramiki, podłoża i temperaturę powierzchni radiatora. Natomiast  $R_{th\ Cu}$ ,  $R_{th\ Cer}$ ,  $R_{th\ Alu}$  symbolizują rezystancje termiczne miedzi, izolacji ceramicznej oraz zewnętrznego radiatora.



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

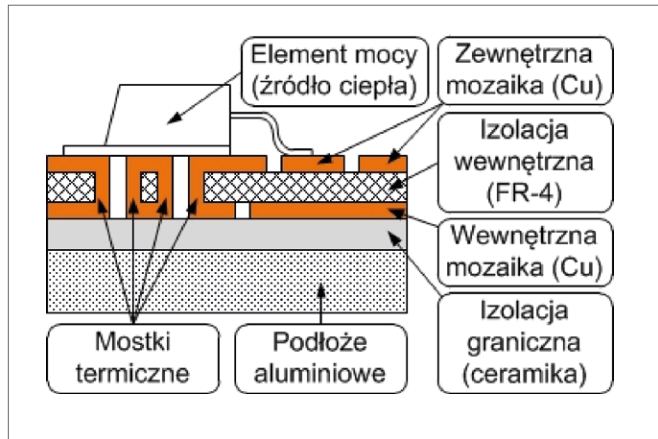


Rys. 8. Przykładowe obciążalności prądowe ścieżki obwodu PCB wykonanego na bazie materiału IMS (opracowano na podstawie [2])

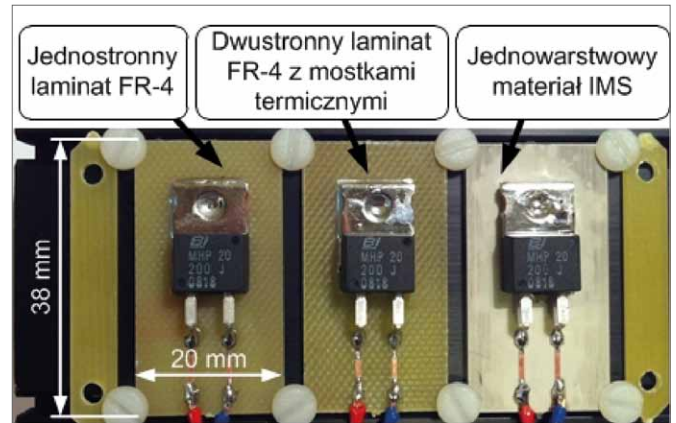
Wartość rezystancji termicznej miedzi jest taka sama, jak w przypadku technologii klasycznej. Rezystancja cieplna warstwy ceramicznej, dla powierzchni  $1 \text{ mm}^2$ , grubości  $100 \text{ }\mu\text{m}$  oraz przewodności cieplnej właściwej  $1,15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  wynosi około  $87 \text{ K/W}$ . Podłoże aluminiowe o powierzchni  $1 \text{ mm}^2$ , grubości  $1,5 \text{ mm}$  oraz przewodności cieplnej właściwej  $200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  charakteryzuje się rezystancją termiczną rzędu  $R_{\text{th Alu}} = 7,5 \text{ K/W}$ . Zatem rezystancja termiczna  $1 \text{ mm}^2$  materiału IMS o parametrach jak wyżej wynosi niespełna  $95 \text{ K/W}$ . Jest to wartość o rząd mniejsza od rezystancji cieplnej klasycznego obwodu PCB. Przekłada się to również na znaczny wzrost obciążalności prądowej mozaiki ścieżek, co przedstawiono na rysunku 8.

#### 4. Wielowarstwowe materiały IMS

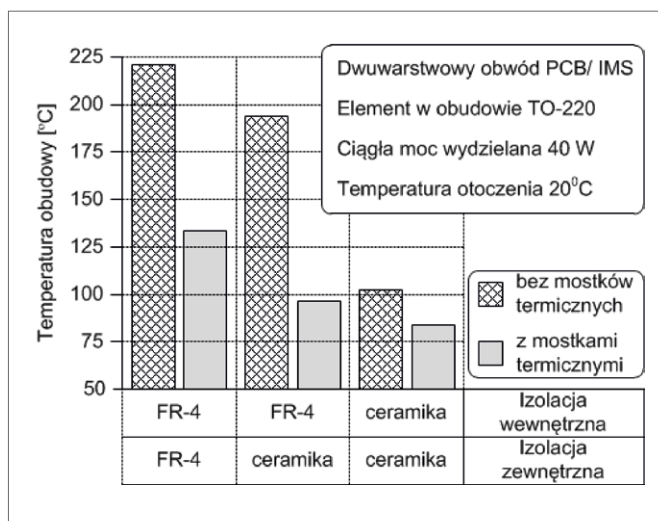
Omówiony pokrótce powyżej materiał IMS umożliwia wykonywanie jednowarstwowych obwodów drukowanych. Niemniej jednak część producentów obwodów drukowanych, dysponujących odpowiednim zapleczem technicznym, oferuje swoim klientom również obwody wielowarstwowe na bazie materiałów z podłożem metalowym. W przypadku obwodów wielowarstwowych wyróżnia się dwa rodzaje izolacji: izolację oddzielającą poszczególne warstwy mozaiki ścieżek (izolację wewnętrzną) oraz izolację separującą najniższą warstwę obwodu



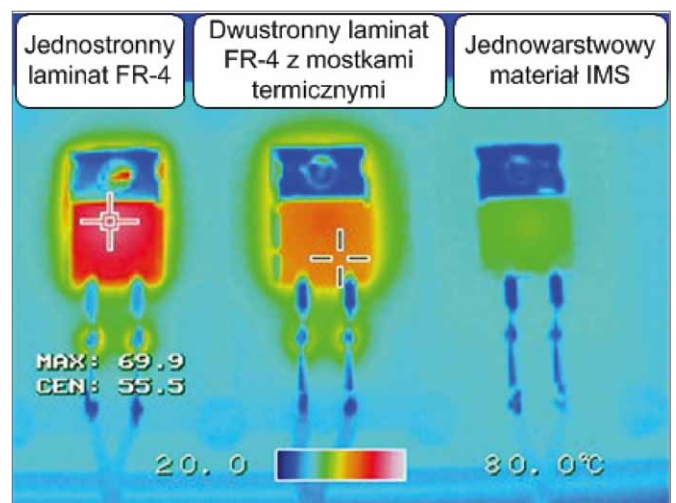
Rys. 9. Dwuwarstwowy obwód PCB/IMS z mostkami termicznymi (w przekroju)



Rys. 11. Testowane obwody drukowane



Rys. 10. Wpływ typu izolacji oraz mostków termicznych na temperaturę elementu (opracowano na podstawie [2])



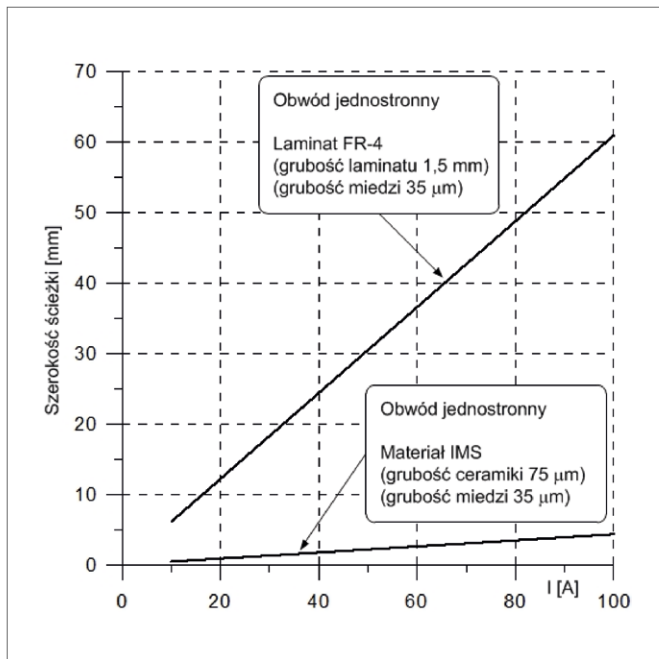
Rys. 12. Termowizyjny obraz obwodów drukowanych wykonanych w różnych technologiach (moc wydzielana na każdym elemencie  $\approx 2$  W)

od podłoża metalowego (izolację graniczną). Stosuje się izolacje ceramiczne lub izolacje wykonane z cienkiego laminatu typu FR-4 [2, 6]. Przy czym grubość warstwy izolacji z laminatu FR-4 wynosi zazwyczaj około 100  $\mu\text{m}$ . Rezystancja termiczna 1  $\text{mm}^2$  tej warstwy wynosi około 385  $\text{K/W}$ . Warto tutaj zwrócić uwagę, że w jednym obwodzie mogą występować izolacje wykonane z obu materiałów. Izolacja wewnętrzna częściej jest wykonana z laminatu, co skutkuje pogorszeniem efektywności odprowadzania ciepła do podłoża zarówno z elementów elektronicznych, jak i z mozaiki ścieżek poszczególnych warstw. Jakość chłodzenia można zwiększyć, stosując metodę znaną z technologii klasycznej – mostki termiczne. Dwuwarstwowy obwód PCB/IMS z mostkami termicznymi przedstawiono na rysunku 9. Natomiast wpływ rodzaju izolacji na efektywność odprowadzania ciepła oraz skuteczność stosowania mostków termicznych zobrazowano diagramem z rysunku 10. Pokazuje on wyraźnie, że nawet w najbardziej niekorzystnym przypadku (oba rodzaje izolacji wykonane z laminatu) stosowanie mostków termicznych znacząco podnosi skuteczność odprowadzania ciepła, co przekłada się na obniżenie temperatury obudowy elementu.

## 5. Korzyści płynące z obwodów PCB/IMS

Obwody PCB/IMS charakteryzują się równomiernym rozkładem temperatur na całej swojej powierzchni, a temperatura elementu wydzielającego moc jest znacznie niższa niż w przypadku zastosowania klasycznego obwodu drukowanego. W celu zobrazowania tego zjawiska przeprowadzono test. Na powierzchni trzech obwodów drukowanych (obwodu jednowarstwowego, dwuwarstwowego obwodu z mostkami termicznymi oraz obwodu PCB/IMS – rys. 11) o identycznej mozaice połączeń umieszczono rezystory w obudowie TO-220. Na każdym rezystorze utrzymywano ciągłą moc 2 W. Po uzyskaniu cieplnego stanu ustalonego wykonano zdjęcie kamerą termowizyjną (rys. 12).

Podczas testu najwyższą temperaturę ( $\approx 70^\circ\text{C}$ ) osiągnął rezystor umieszczony na obwodzie jednowarstwowym. Różnica temperatur ( $\Delta T$ ) pomiędzy elementem a otoczeniem ( $20^\circ\text{C}$ ) wyniosła około  $50^\circ\text{C}$ . Ciepło było oddawane do otoczenia jedynie przez obudowę elementu. Również ścieżki i punkty lutownicze uzyskały najwyższe temperatury. Obwód dwustronny, dzięki zastosowaniu mostków termicznych, zapewniał lepsze odprowadzanie ciepła z elementu – w procesie chłodzenia brały



Rys. 13. Porównanie obciążalności prądowej klasycznego obwodu PCB z obwodem PCB/IMS (opracowano na podstawie [2])

udział powierzchni miedzi umieszczone po obu stronach laminatu. Rezystor osiągnął temperaturę niespełna 60°C, wobec czego  $\Delta T$  wyniosła około 40°C. Obniżeniu uległa również temperatura ścieżek i punktów lutowniczych. Najlepszym rozwiązaniem okazał się obwód drukowany wykonany na bazie materiału IMS. Temperatura rezystora nie przekroczyła 45°C, zatem różnica temperatur między elementem i otoczeniem wyniosła tylko 25°C. Obwód PCB/IMS charakteryzował się równomiernym rozkładem temperatur oraz najniższymi temperaturami mozaiki ścieżek i punktów lutowniczych.

Stosowanie obwodów PCB/IMS 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 w mniejszym stopniu przekształtniki i inne urządzenia stosowane w branży automotive. Materiały IMS znajdują również zastosowanie w niskonapięciowych przekształtnikach napędowych




reklama

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.

 dr inż. Arkadiusz Domoracki –  
Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny,  
Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki,  
e-mail: arkadiusz.domoracki@polsl.pl

artykuł recenzowany

reklama