

Wybrane techniki realizacji obwodów drukowanych na bazie podłoży typu DBC

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wybrane zagadnienia z zakresu technologii DBC (Direct Bonded Copper), która pozwala na wytwarzanie obwodów drukowanych pokrytych jedno lub dwustronnie warstwą miedzi. Przedstawiono podstawowe parametry tych podłoży oraz ich potencjał aplikacyjny. Opisano kilka metod bazujących na wynikach prac własnych oraz literaturze, pozwalających na formowanie mozaiki obwodów drukowanych, ich cięcia oraz wykonywania w nich otworów. Zaproponowano wykorzystanie tych technik dla potrzeb realizacji modeli, prototypów i demonstratorów modułów elektroniki dużej mocy, układów typu MCM (Multi-Chip Modules) i termogeneratorów. Główny nacisk położono na wykorzystanie urządzenia pracującego z zastosowaniem strumienia wody oraz na wykorzystanie ablacji laserowej do formowania mozaiki obwodu drukowanego. Przeprowadzono również analizę możliwości posiadanych urządzeń laserowych pod kątem wykonywania otworów oraz cięcia podłoża DBC.

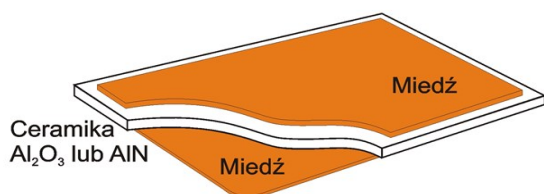
Abstract. The article presents chosen aspects of the DBC (Direct Bonded Copper) technology. This technology enables for the manufacturing of the circuits on ceramic substrates coated at one or both sides with a thick Cu layers. Several methods for printed mosaic formation, holes drilling and cutting are described. The use of presented techniques for realization of models, prototypes, demonstrators of power electronic modules, MCM (Multi-Chip Modules) circuits and thermogenerators are shown. The main focus of this article is to demonstrate the possibilities of using Abrasive Water Jet device and laser ablation for mosaic printed circuits manufacture. Application of laser has been tested at the angle of drilling and cutting process. Basic parameters of the DBC substrates and their practical implementations has been presented and discussed. (Selected techniques for the realization of printed circuits based on DBC substrates).

Słowa kluczowe: podłoże DBC, obwód drukowany, wykonywanie otworów, cięcie, montaż SMT.

Keywords: DBC substrate, printed circuit, drilling, SMT.

Wprowadzenie

Technologia podłoży DBC (Direct Bonded Copper) powstała w połowie lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Została ona opracowana i opatentowana przez firmę General Electric Company. W dużym uproszczeniu technologia ta pozwala na bezpośrednie i trwałe zespolenie dwóch tak różnych materiałów, jak np. miedź i ceramika (bez użycia jakichkolwiek materiałów pośrednich takich jak: spoiwa lutownicze, kleje, itp.) w procesie dyfuzji prowadzonym w precyzyjnie dobranym profilu temperaturowym. Ze względu na wysoką przewodność cieplną stosowanej ceramiki alundowej Al_2O_3 (24 W/mK) lub dużo wyższą ceramiki AlN (130 do 180 W/mK), doskonałą przewodność cieplną warstwy miedzi (o grubości od 0,2 do 0,6 mm) oraz jej dużą obciążalność prądową połączoną z dobrymi parametrami mechanicznymi i izolacyjnymi ceramiki, technologia ta znalazła zastosowanie w komercyjnych realizacjach układów elektroniki wysokich mocy. Współczynnik temperaturowy rozszerzalności liniowej podłoża DBC jest ściśle dopasowany do wielu materiałów półprzewodnikowych, co czyni je przydatnymi w realizacji układów typu MCM (Multi-Chip Modules) i termogeneratorów. Na rysunku 1 przedstawiono budowę typowego podłoża bazującego na technologii DBC.



Rys. 1. Budowa podłoża bazującego na technologii DBC

Dla praktycznych realizacji wykorzystujących podłoża typu DBC należy zaprojektować i wykonać odpowiednie obwody drukowane. Przykładowe projekty pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Przykład obwodów drukowanych wykonanych w oparciu o podłoża typu DBC © curamik® [3]

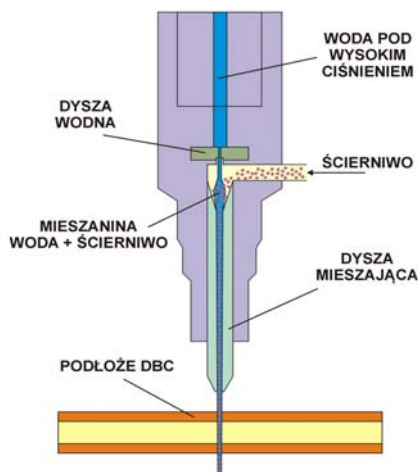
Dla potrzeb realizacji takich obwodów niezbędne są technologie pozwalające na formowanie mozaiki obwodów drukowanych ich wycinanie oraz, jeśli zajdzie taka potrzeba, do wykonywania w nich otworów. Standardowo do formowania mozaiki drukowanej, płytki pokrywa się fotolakierem, selektywnie naświetla poprzez fotomaskę, a następnie poddaje procesowi trawienia natryskowego. Techniki te opisano w pozycjach literatury [1] i [2]. Proces cięcia jest realizowany z wykorzystaniem urządzeń laserowych, pił diamentowych lub specjalistycznych rysików diamentowych. Do wykonywania otworów stosuje się głównie urządzenia laserowe. W niniejszej pracy zaproponowano i opisano wyniki przeprowadzonych wstępnych prac mających na celu poszukiwanie metod alternatywnych.

Prace eksperymentalne

W niniejszej pracy opisano wykorzystanie urządzenia do cięcia strugą wodno-ścierną oraz urządzenia do mikroobróbki laserowej.

Technika cięcia strugą wodno-ścierną

Technika ta polega na wykorzystaniu energii strugi wodnej z dodatkiem proszków ściernych wypływającej pod wysokim ciśnieniem przez mały otwór o średnicy: $0,1 \pm 0,4$ mm w diamentowej lub szafirowej dyszy, do cięcia różnego rodzaju materiałów.



Rys. 3. Schemat idealowy głowicy tnącej wykonany na podstawie poz. [4]

Na rysunku 3 przedstawiono schemat głowicy tnącej zrealizowanej w technologii AWJ (Abrasive Water Jet). Ścierniwo, po wymieszaniu z wodą w komorze mieszania i uformowaniu w tzw. dyszy mieszającej (ang. mixing tube), tworzy strugę wodno-ścierną zdolną przeciąć najtwardsze materiały. Prędkość strugi po wyjściu z dyszy wynosi około 3600 km/godz. [4].

Do podstawowych zalet tej technologii należy zaliczyć: uniwersalność stosowania do różnych materiałów takich jak: stале, szkło, ceramika, kompozyty, kamienie itp., możliwość przecinania bardzo grubych materiałów (w przypadku stopów aluminium nawet do 300 mm), możliwość przecinania materiału wielowarstwowego, możliwość kształtowania elementów trójwymiarowych, brak termicznego wpływu na przecinany materiał, brak deformacji materiału w obszarze cięcia i inne [5].

Istotnym problemem obróbki jest dobór optymalnego ścierniwa, które z jednej strony powinno skutecznie usuwać materiał, ale z drugiej nie powodować nadmiernego zużycia dyszy. Najbardziej cenione są ścierniwa o dużej twardości, wysokiej gęstości, izometrycznym kształcie oraz dużej liczbie ostrych krawędzi. Zastosowanie w procesie obróbkowym ziaren ściernych o takich własnościach korzystnie wpływa na wydajność obróbki zależną od energii kinetycznej ziaren. W procesie przecinania strugą wodno-ścierną najczęściej stosowanym ścierniwem jest granat (ang. garnet), rzadziej piasek oliwinowy, tlenek glinu i niektóre materiały syntetyczne [6].

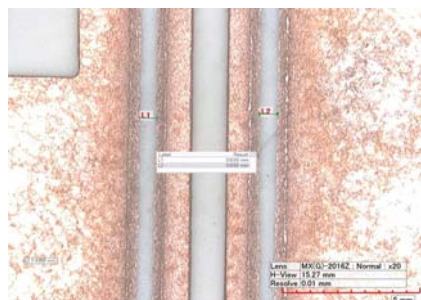
Typowymi parametrami dla technologii AWJ są:

- ciśnienie robocze: 350 ÷ 600 MPa,
- wydatek wody: 4 ÷ 6 l/min,
- wydatek ścierniwa: 300 ÷ 500 g/min,
- średnice dysz: wodna 0,3 ÷ 0,4 mm; formująca 0,8 ÷ 1 mm.[4]

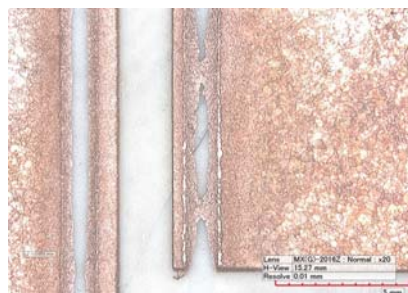
Poniżej przedstawiono wybrane wyniki prób formowania mozaiki drukowanej i wykonywania otworów w podłożach DBC. Do tego celu wykorzystana została wycinarka wodna Streamline Waterjet firmy KMT. Zastosowano następujące parametry: ciśnienie strugi przy nacinaniu warstwy Cu - 260 MPa, ciśnienie strugi przy przecinaniu całego podłoża oraz wykonywaniu otworów - 350 MPa, średnica strugi - 0,8 mm, rodzaj ścierniwa - garnet 80 mesh, prędkość nacinania warstwy Cu 1,8 m/min, prędkość przecinania podłoża - 0,8 m/min, odległość dyszy od materiału - 2 mm. Na rysunku 4a przedstawiono trzy pionowe nacięcia podłoża DBC 0,6 mm Al₂O₃/300µm Cu, przy czym boczne zostały wykonane nacinarką wodną,

natomiast środkowa metodą trawienia w roztworze zawierającym CuCl₂, HCl oraz perhydrol w czasie 2 godz. Na rysunku 4b pokazano inną część tego samego podłoża z wyraźnymi mostkami zwarciovymi w prawym rowku. Na rysunku 5 przedstawiono profilogramy nacięć wykonanych odpowiednio metodą wodno-ścierną (5a) i trawienia (5b).

a)

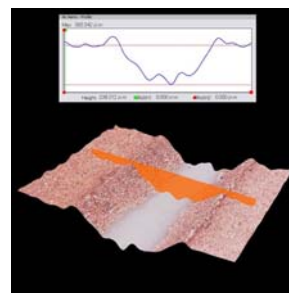


b)

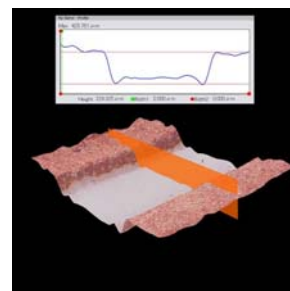


Rys. 4. Wygląd zewnętrzny podłoża DBC z nacięciami wykonanymi metodą wodno-ścierną i trawienia: fragment prawidłowy (a), fragment wadliwy (b)

a)



b)



Rys. 5. Profilogramy nacięć wykonanych metodą wodno-ścierną (a) i trawienia (b)

Z wykonanych prób technologicznych można wyciągnąć następujące wnioski: mozaiki drukowane formowane na podłożach DBC wykonane metodą wodno-ścierną charakteryzują się dobrą jakością dając efektywną przerwę izolacyjną na poziomie 0,6 ÷ 0,7 mm, tym niemniej zaobserwowano również w niektórych obszarach podłoża mostki zwarciovые, ściany boczne nacięć są zaokrąglone, a

krawędzie górne podniesione do góry o ok. 50 μm na powierzchni 0,2 \div 0,3 mm po każdej ze stron nacięcia. Widać wyraźnie oddziaływanie strugi o bardzo dużej energii na stosunkowo miękką miedź. W tym kontekście nacięcia wykonane metodą trawienia charakteryzuje się lepszą jakością, ściany boczne są prawie pionowe, brak widocznych wypływek miedzi poza powierzchnię górną, szerokość nacięcia na całej długości bardzo powtarzalna bez jakichkolwiek śladów mostków zwarciovych.

W ramach eksperymentu wykonano również próby wykonywania otworów przelotowych w podłożach DBC, z tym, że z uwagi na konieczność przebicia na wylot ceramiki podniesiono ciśnienie strugi do poziomu 350 MPa. Wyniki tych prób przedstawiono na rysunku 6. Otwory przelotowe wykonywano zarówno na podłożu z usuniętą górną miedzią (6a), jak i z nią (6b). W obydwu przypadkach uzyskano bardzo powtarzalne i równomierne okrągłe otwory o średnicy ok. 1 mm, przy czym w przypadku drugim zaobserwowano w obszarze ok. 1,5 mm, podobnie jak dla nacięć, występowanie wokół otworów stref o zaburzonej, wskutek oddziaływania strugi, strukturze. Zaobserwowano również niekorzystne zjawisko odrywania miedzi na stronie tylnej podłoża na stosunkowo znacznym obszarze (Rys. 6c). Energia strugi spowodowała powstanie swoistego „stożka wulkanicznego” o średnicy kilkakrotnie przekraczającej średnicę otworu i wysokości do 1mm. Trzeba dodać jednak, iż wykonanie jednego otworu przelotowego trwało zaledwie kilka sekund.

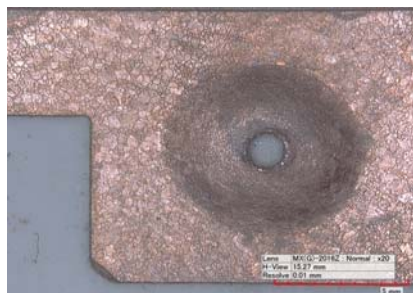
a)



b)



c)



Rys. 6. Wygląd zewnętrzny otworów w ceramice DBC: strona robocza, otwór na odkrytej ceramice (a), strona robocza, otwór poprzez miedź i ceramikę (b) strona tylna, wylot otworu (c)

Technika mikroobróbki laserowej

Dla potrzeb eksperymentu zastosowano specjalizowane urządzenie do mikroobróbki laserowej typu e-SolarMark firmy SOLARIS S. A., z laserem CO₂, o parametrach zestawionych w tabeli 1. Pierwsze próby formowania mozaiki obwodu drukowanego prowadzono w sposób doświadczalny, dobierając poszczególne parametry wiązki laserowej tak, aby otrzymać wyraźne kontury formowanego obrazu mozaiki. Po wykonaniu serii prób, drogą kolejnych iteracji, dobrano wartość poszczególnych parametrów procesowych tak, aby możliwe było wykonywanie ścieżek przewodzących z rozdzielczością 150/150 μm (szerokość ścieżki/odstęp między ścieżkami) w warstwie miedzi o grubości 300 μm . W ostatniej kolumnie tabeli 1 zestawiono nastawy wartości poszczególnych parametrów, przy których uzyskuje się najlepsze odwzorowanie ścieżek zaprojektowanego obwodu drukowanego, przy minimalnym uszkodzeniu warstwy podłożowej.

Tabela 1. Parametry wiązki laserowej:

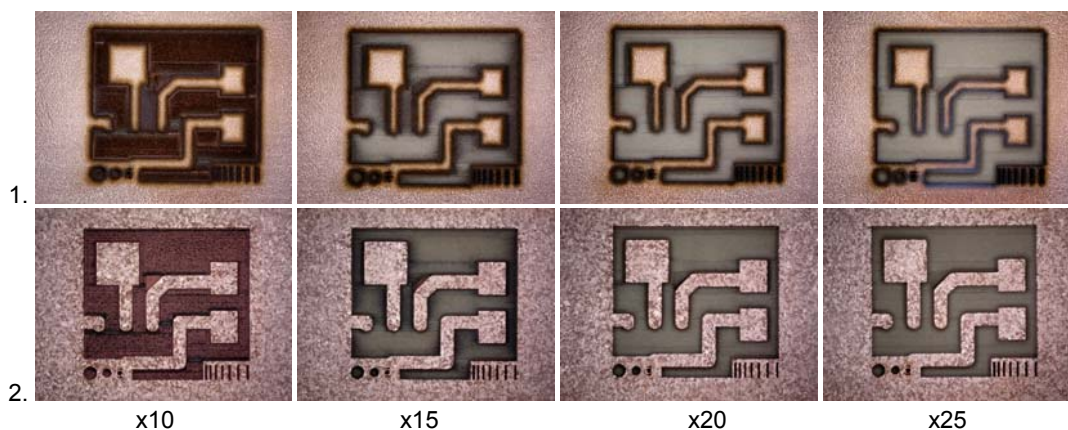
Parametr	Jednostki	Wartość	Nastawy
Moc lasera (średnia)	W	max. 10	10
Długość fali	nm	1062	1062
Częstotliwość powtarzania impulsów	kHz	20 \div 80	20
Średnica wiązki w ognisku	μm	25	25
Z _{offset}	mm	\pm 5	- 0.1
Prędkość przemieszczania wiązki	mm/s	1 \div 10000	110
Odległość pomiędzy liniami cięcia	μm	5 \div 50	10
Liczba powtórzeń	-	1 \div 10	2x 10

Końcowym etapem formowania mozaiki obwodu drukowanego było usunięcie cienkiej warstwy miedzi pozostającej na podłożu po procesie ablacji laserowej. Wykonano je metodą trawienia różnicowego miedzi. Proces trawienia miedzi wykonano przy użyciu trawiarki do wykonywania obwodów drukowanych typu COMBI ETCH firmy SCHMID, w amoniakalnym roztworze miedzi (roztwór wodny amoniaku 5 \div 10%, chlorek amonu 20 \div 25%) o temperaturze 43 \div 44°C i pH na poziomie 8,2 \div 8,8. Celem uzyskania optymalnej szybkości trawienia regulowano dwa parametry: prędkość przesuwu transportera oraz krotność prowadzenia procesu. Docelowo, prędkość przesuwu transportera ustawiono na poziomie 1,05 m/min., a krotność powtórzeń ustanowiono na poziomie 2x.

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe fotografie fragmentów otrzymanych obwodów drukowanych - gdzie:

x – liczba powtórzeń procesu ablacji laserowej
 x10 i x15 – ablacja laserowa miedzi na niewystarczającej głębokości;
 x20 i x25 – ablacja laserowa miedzi na właściwej głębokości (śladowe uszkodzenia warstwy podłożowej).

Zaobserwowano, że najlepsze odwzorowanie obrazu mozaiki uzyskuje się przy wielokrotnym powtarzaniu procesu ablacji z zachowaniem przerw wynoszących min. 90 s pomiędzy kolejnymi przebiegami wiązki laserowej w tym samym miejscu. Pozwoliło to na relaksację obrabianego materiału i bardziej równomierne obrabianie warstwy miedzi na dużym obszarze.

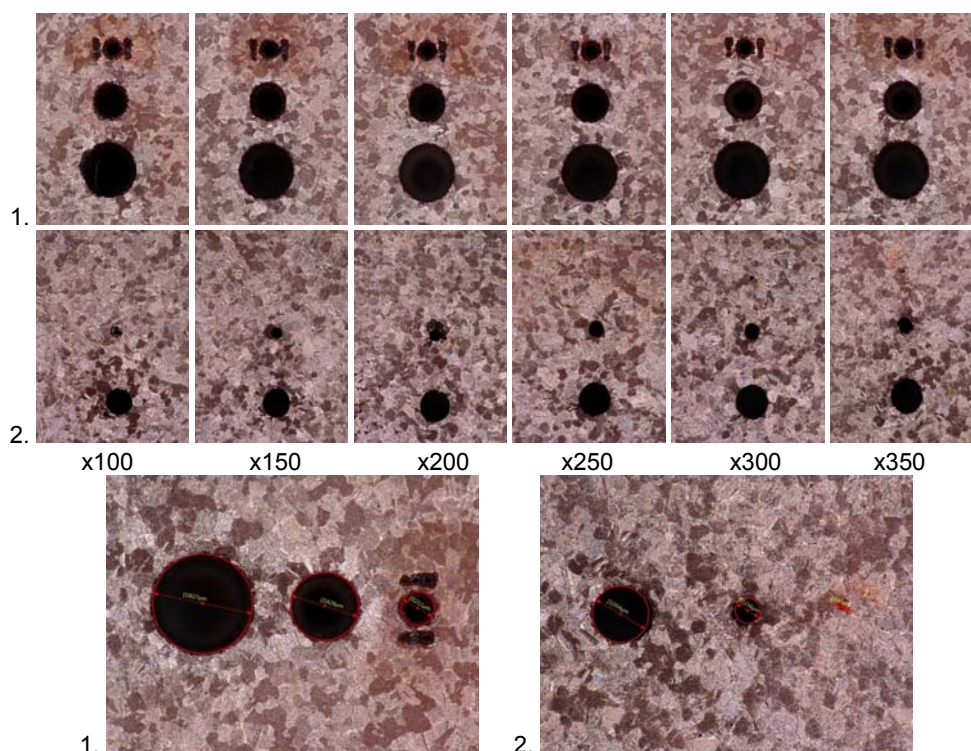


Rys. 7. Przykładowe fotografie fragmentów wytworzonych obwodów drukowanych: (1) po procesie ablacji laserowej; (2) po procesie ablacji laserowej i chemicznym trawieniu różnicowym miedzi.

Dodatkowo, z wykorzystaniem techniki ablacji laserowej podjęto próby wykonania otworów przelotowych o średnicy 200, 400 i 600 μm . Próby prowadzono z użyciem podłoża typu DBC o grubości 1200 μm , które stanowił ceramiczny rdzeń o grubości 600 μm pokryty obustronnie warstwą miedzi o grubości 300 μm . Otwory wykonywano z zastosowaniem tych samych parametrów wiązki laserowej, co w wypadku formowania mozaiki obwodu drukowanego, jednakże ze zwiększoną liczbą powtórzeń wynoszącą

odpowiednio 100, 150, 200, 250, 300 i 350 razy. Przykładowe zdjęcia formowanych otworów dla dwóch różnych powiększeń przedstawiono na rysunku 8 (po procesie ablacji laserowej i czyszczenia chemicznego) - gdzie:

- x – liczba powtórzeń procesu ablacji laserowej
- 1 – widok od strony działania wiązki laserowej; 2 – widok po stronie przeciwnej podłoża



Rys. 8. Przykładowe fotografie otworów przelotowych

Dopiero przy zastosowaniu 250 powtórzeń, i więcej, można było wykonać otwór przelotowy o zakładanej średnicy wejściowej równej 200 μm . Najlepsze wyniki, w odniesieniu do wszystkich średnic formowanych otworów, uzyskano przy zastosowaniu 350 powtórzeń. W tym wypadku średnice poszczególnych otworów wynosiły odpowiednio: dla otworu 600 μm (627 μm od strony działania wiązki laserowej / 354 μm po przeciwnej stronie podłoża); dla otworu 400 μm (428 / 156); oraz dla otworu 200 μm (211 / 40 μm). W oparciu o przeprowadzone pomiary średnic, wyraźnie zauważalny jest stożkowy kształt

formowanych otworów (wielokrotnie większa średnica otworu od strony działania wiązki laserowej). Spowodowane jest to brakiem możliwości zmiany ogniskowania wiązki laserowej względem obrabianego materiału w trakcie prowadzenia procesu ablacji. Wynika to z konstrukcji użytego w pracy badawczej urządzenia laserowego. Zmiana wysokości ogniskowania wiązki, w miarę jak dokonywana jest ablacja kolejnych obszarów obrabianego materiału, pozwoliłaby na zachowanie bardziej cylindrycznego kształtu formowanych otworów.

Wnioski końcowe

Zastosowanie techniki strugi wodno-ścierniej do wykonywania obwodów drukowanych na podłożach DBC wg aktualnej wiedzy autorów posiada cechy nowości. Uzyskane wyniki wykazały zarówno zalety, do których można zaliczyć bardzo dużą szybkość wykonywania mozaiki i w razie potrzeby, równoczesne wykonywanie otworów przelotowych w podłożu, jak i wady takie jak średnia jakość kształtu nacięć i otworów zwłaszcza od strony spodniej podłoża. Autorzy widzą duży potencjał w dalszych pracach nad poprawą jakości podłoża poprzez zastosowanie np. nacinarek z ruchomą głowicą w celu poprawy kształtów nacięć.

Otrzymane wyniki z wykorzystaniem techniki mikroobróbki laserowej są bardzo obiecujące. Szacuje się, że kontynuowanie prac badawczych w tym zakresie, które wymagają jeszcze wielokrotnych prób doświadczalnych, pozwoli na bardziej optymalny dobór parametrów, gwarantujący wykonywanie obwodów drukowanych o rozdzielczości nawet 100/100 μm , przy jednoczesnym zachowaniu kilkuset mikrometrowej grubości warstwy miedzi.

Prace te w znacznej części zostały zrealizowane dzięki aparaturze i doświadczeniom uzyskanym w przy realizacji projektu nr MIME POIG.01.01.02-00-108/09.

Autorzy: dr inż. Wojciech Grzesiak, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: grzesiak@ite.waw.pl; mgr Piotr Maćków, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: pmackow@ite.waw.pl; mgr Tomasz Maj, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: maj@ite.waw.pl; Artur Polak, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-

701 Kraków, E-mail: polak@ite.waw.pl; mgr inż. Beata Synkiewicz, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: synkiewicz@ite.waw.pl; mgr inż. Krzysztof Witek, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: witek@ite.waw.pl; dr inż. Janusz Borecki, Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: janusz.borecki@itr.org.pl; mgr inż. Tomasz Serzysko, Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: tomasz.serzysko@itr.org.pl.

LITERATURA

- [1] Grzesiak W., Maćków P., Maj T., Polak A., Zawora Sz., Kulawik J., Synkiewicz B., Witek K., Zastosowanie podłoża DBC w praktycznych realizacjach układów elektroniki dużej mocy, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)* 9/2015 46-49, doi:10.15199/48.2015.09.13
- [2] Grzesiak W., Maćków P., Maj T., Synkiewicz B., Witek K., Kisiel R., Myśliwiec M., Borecki J., Serzysko T., Żupnik M., Application of Direct Bonded Copper Substrates for Prototyping of High Power Electronic Modules, *Circuit World*, vol 42, issue 1 (2016), pp.23-31, <http://dx.doi.org/10.1108/CW-10-2015-0051>
- [3] Udostępnienie materiału i copyright: Rogers Germany GmbH, Am Stadtwald 2, 92676 Eschenbach, Germany
- [4] Witryna internetowa <http://www.waterjet.org.pl/podstawy.html>, dostęp luty 2016
- [5] Sobczak R., Prażmo J. Podstawy przecinania wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną, 8.12.2013, http://www.waterjet.org.pl/art/podstawy_przecinania_wysokocisnieniowa_struga_wodno_scierna.pdf, dostęp luty 2016
- [6] Sobczak R., Prażmo J. Kryteria doboru i własności wybranych ścierniw stosowanych w obróbce strumieniowo-ścierniej, 30.10.2012, http://www.waterjet.org.pl/art/scierniwa_w_obrobce_strumieniowej.pdf, dostęp luty 2016