

Laserowa metoda odwzorowania schematu połączeń obwodów elektrycznych o wysokiej gęstości upakowania na płytkach drukowanych

mgr inż. ROBERT BARBUCHA¹, dr inż. MAREK KOCIK¹,
prof. dr hab. inż. JERZY MIZERACZYK^{1,2}

¹ Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, Instytut Maszyn Przepływowych, Gdańsk

² Akademia Morska, Wydział Elektryczny, Gdynia

Dotychczasowe doświadczenia w zakresie naświetlania schematów połączeń elektrycznych konwencjonalną metodą fotolitografii wskazują, iż próby wykonania ścieżek elektrycznych o szerokościach i odstępach pomiędzy nimi poniżej 120 μm w warstwie miedzi na płytkach drukowanych (PCB - *Printed Circuit Board*) kończą się niepomyślnie ze powodu dramatycznego wzrostu liczby braków. Z analizy przyczyn tych braków wynika, że szczególnie krytycznym etapem technologicznym jest proces naświetlania fotopolimeru poprzez fotoszablon (kliszę) w celu uzyskania obrazu obwodu elektrycznego na fotopolimerze. Rozwiązaniem tego problemu jest uproszczenie procesu naświetlania. Umożliwia to tzw. metoda bezpośredniego naświetlania promieniowaniem laserowym - zwaną technologią LDI (*Laser Direct Imaging*) [1]. Wprowadzenie technologii LDI, umożliwiającej bezpośredni zapis schematu połączeń elektrycznych na powierzchni fotopolimeru za pomocą zogniskowanej wiązki lasera, pozwala na wyeliminowanie kilku operacji związanych z wykorzystaniem fotoszablonów (bazowanie, naświetlanie, kondycjonowanie). Dzięki zastosowaniu metody LDI uzyskuje się obniżenie kosztów wynikających z eliminacji operacji wykonywania i przechowywania fotoszablonów (zakup fotoszablonów, proces ich naświetlania i wywoływania, zakup niezbędnych do tych celów urządzeń oraz odczynników chemicznych, konieczność posiadania pomieszczeń klimatyzowanych o wysokiej klasie czystości). Ponadto wyeliminowane zostają też wady związane z jakością fotoszablonów (uszkodzenia mechaniczne fotoszablonów w wyniku wielokrotnego ich stosowania, niska kontrastowość, zmiany wymiarowe, słaby kontakt pomiędzy fotoszablonoem a fotopolimerem, trudność w utrzymaniu odpowiedniej czystości fotoszablonów) [2].

W tabeli. ustawiono etapy procesu konwencjonalnego (fotolitografia) oraz procesu LDI. Widać, że proces wytwarzania schematu połączeń elektrycznych na PCB za pomocą metody LDI jest o wiele krótszy.

Proces wykonywania schematu połączeń na PCB w technologii LDI składa się z następujących czynności (rys. 1):

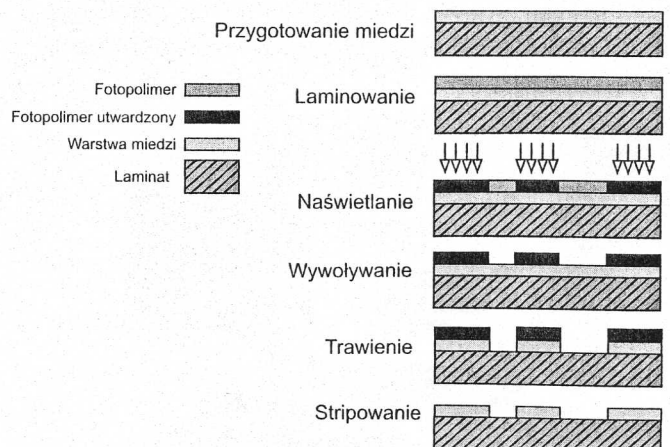
- przygotowanie powierzchni na płytce drukowanej do nałożenia fotopolimeru w procesie tzw. pumeksownia i mikrotrawienia (operacje związane z wyczyszczeniem, wyrównaniem i tzw. rozwinięciem powierzchni PCB - zwiększeniem powierzchni kontaktowej miedzi z fotopolimerem),
- nałożenie warstwy fotopolimeru na przygotowaną powierzchnię miedzi (proces zwany laminowaniem; wykonywany jest on w tzw. laminatorze),
- przygotowanie pliku ze wzorem połączeń elektrycznych (najbardziej popularnym formatem plików z danymi PCB jest Gerber RX-274D. Konieczne jest przekonwertowanie tych danych do formatu HPGL, stosowanego w programie do naświetlania laserowego,
- naświetlanie laserowe (prędkość liniowa naświetlania ścieżek o szerokości 30 - 50 μm wynosi 50 - 80 cm/s dla

fotopolimeru laserowego o czułości 10 - 12 mJ/cm² oraz 4 - 5 cm dla fotopolimeru konwencjonalnego o czułości 35 - 55 mJ/cm²),

- wywoływanie naświetlonej płytki drukowanej w 1% roztworze Na₂CO₃,
- trawienie chemiczne w amoniakalnych roztworach miedzi,
- usunięcie pozostałej części fotopolimeru (tzw. stripowanie).

Porównanie etapów wytwarzania schematu połączeń elektrycznych na płytce drukowanej konwencjonalnej oraz LDI
Comparison of the procedure of two PCB imaging methods: conventional and LDI

Proces konwencjonalny	Proces LDI
Przygotowanie danych do naświetlania klisz	Przygotowanie programu do sterowania wiązką lasera UV zgodnie ze wzorem elektrycznym połączeń
Naświetlanie klisz	-
Wywoływanie klisz	-
Kondycjonowanie klisz	-
Przygotowanie powierzchni miedzi na płytce drukowanej (mikrotrawienie, szlifowanie) do nakładania fotopolimeru	Przygotowanie powierzchni miedzi na płytce drukowanej (mikrotrawienie, szlifowanie) do nakładania fotopolimeru
Nakładanie fotopolimeru (Laminowanie)	Nakładanie fotopolimeru (Laminowanie)
Bazowanie klisz i wytwarzanie próżni	-
Naświetlanie (światłem UV w kopioramie)	Naświetlanie (laserem UV)



Rys. 1. Etapy wytwarzania schematu połączeń elektrycznych na płytce drukowanej
Fig. 1. Steps in manufacturing the electric circuits patterns on PCB using LDI

Jak dotychczas technologia LDI nie jest powszechnie stosowana w przemyśle płytek drukowanych. Wykorzystuje się ją tam, gdzie potrzebne są krótkie serie prototypowych schematów obwodów elektrycznych o dużej gęstości połączeń elektrycznych w technologii HDI (*High Density Interconnect*). Przykładem wysokiej integracji elementów elektronicznych wymagających gęstego upakowania połączeń na PCB są zaawansowane telefony komórkowe, w których stosuje się wielowarstwowe płytki drukowane.

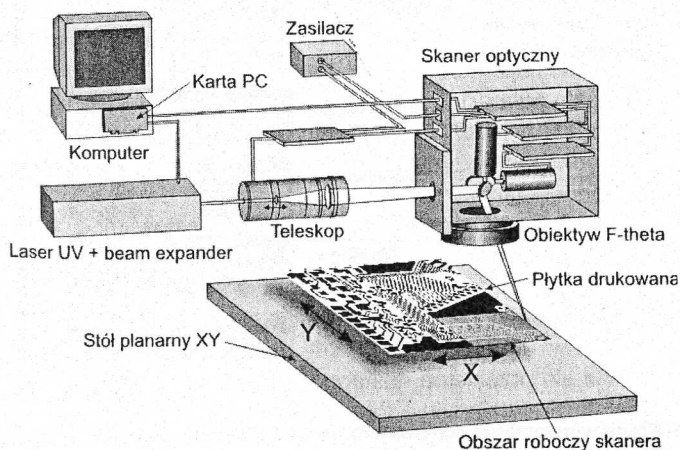
Aby urządzenie do LDI mogło być wykorzystane do komercyjnej produkcji PCB w technologii HDI, gdzie szerokość i odstęp między ścieżkami jest poniżej 100 μm , powinno ono:

- umożliwiać naświetlania jakościowo dobrych ścieżek w warstwie fotopolimeru o gęstości upakowania 50/50 μm lub jeszcze lepiej,
- posiadać możliwość regulacji głębokości ogniska wiązki laserowej w szerokich granicach, celem zapewnienia dobrej jakości naświetlania dla obwodów o głębokiej topografii. Jest to szczególnie wymagane dla równomiernego naświetlania zewnętrznych warstw w technologii zwanej *Sequential Build Up* (SBU),
- posiadać system kontroli jakości naświetlanych płytek [3].

W artykule zaprezentowano rozbudowaną wersję opracowanego przez autorów urządzenia do LDI. Dotychczasowe urządzenie do LDI umożliwiało naświetlanie obszaru 5 x 5 cm, co pozwalało na wykonywanie testów naświetlania z dużą gęstością upakowania ścieżek, jednak nie nadawało się do wykorzystania w produkcji przemysłowej PCB. Obecne urządzenie do LDI wyposażono w stół planarny XY, charakteryzujący się wysoką precyzją i rozdzielczością przesuwu oraz prostą konstrukcją mechaniczną.

Układ eksperymentalny

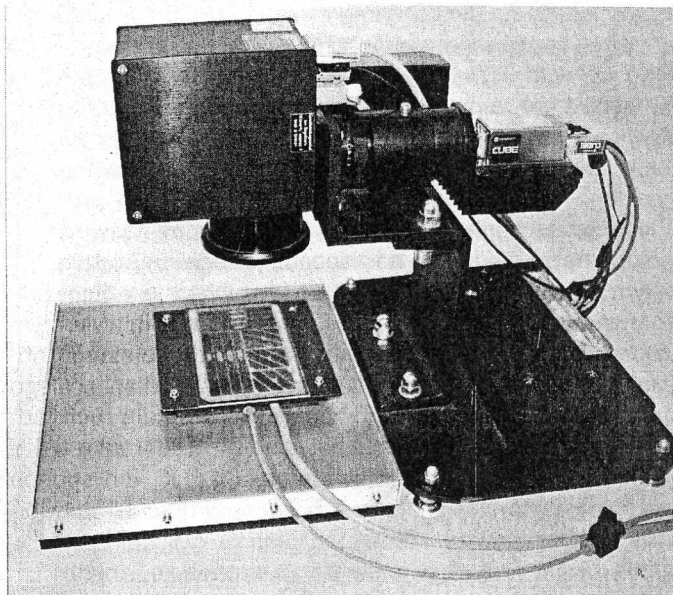
Opracowane urządzenie do LDI składa się z lasera półprzewodnikowego generującego promieniowanie UV ($\lambda = 375 \text{ nm}$, $P_{\text{sr}} = 9 \text{ mW}$), skanera optycznego ze specjalistyczną optyką ogniskującą typu F theta (ogniskowa soczewki zmienia się w zależności od kąta padania wiązki laserowej w ten sposób, że ognisko laserowe cały czas jest umiejscowione na powierzchni PCB, niezależnie od kąta padania wiązki laserowej na PCB) i galwo-zwierciadłami pokrytymi dielektrykiem odbijającym promieniowanie UV. Maksymalna prędkość liniowa przesuwu ogniska laserowego w obszarze naświetlania wynosi 1 m/s. Na rys. 2 przedstawiono schemat urządzenia do LDI wyposażonego stół planarny XY, umożliwiający bardzo precyzyjne przemieszczanie płytki drukowanej pod skanerem optycznym.



Rys. 2. Schemat urządzenia do LDI
Fig. 2. LDI system

Stół planarny jest stosunkowo nowym urządzeniem (na rynku pojawił się w 2006 r.). Ma on wysoką rozdzielczość (2 μm), precyzję ($\pm 2 \mu\text{m}$) oraz dokładność przesuwu w całym obszarze roboczym wynoszącą $\pm 15 \mu\text{m}$. Stół planarny jest to odmiana silnika krokowego, który unosi się na poduszce magnetyczno-powietrznej nad solidną metalową podstawą. W podstawie znajduje się siatka mikrokwadratów odpowiadających pełnym krokom stołu planarnego. Ruchomy element zwany twornikiem przemieszcza się z maksymalną prędkością wynoszącą 0,5 m/s.

Połączenie skanera optycznego, umożliwiającego naświetlanie płytek drukowanych w obszarze 5 x 5 cm, ze stołem planarnym pozwala na naświetlanie płytek drukowanych o wymiarze 15 x 25 cm. Zdjęcie opracowanego przez autorów urządzenia do LDI przedstawione jest na rys. 3.

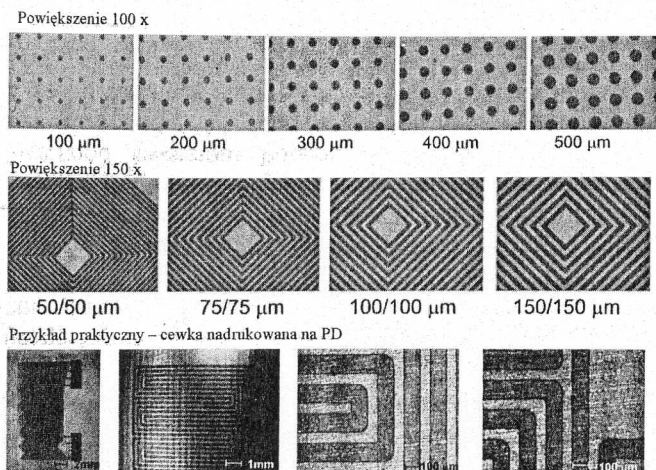


Rys. 3. Urządzenie do bezpośredniego naświetlania laserowego
Fig. 3. Photo of the Laser Direct Imaging system

Oprogramowanie sterujące urządzeniem do LDI umożliwia:

- obsługę formatu ploterowego HPGL (*Hewlett Packard Graphics Language*),
- sterowanie procesem naświetlania metodą wektorową,
- modyfikowanie, skalowanie, transformacje, normalizacje i optymalizację danych,
- naświetlanie różnych szerokości ścieżek z wykorzystaniem dodatkowego ruchu kołowego plamki laserowej podczas ruchu liniowego,
- generowanie tzw. multi-wzorów, umożliwiających testowanie gęstego upakowania ścieżek (w skład multi-wzorów wchodziły multi-linie, multi-kwadraty, multi-romby),
- obsługę kilku kolejnych poleceń formatu ploterowego HPGL/2 (m.in. obsługa komend dotyczących generowania okręgów),
- zaawansowaną opcję wypełniania równoległymi liniami zamkniętych w obrysie kształtów, np. litery, większe obszary,
- opcję spiralnego wypełniania okręgów,
- obsługę formatu rastrowego (możliwość naświetlania wzorów opisanych plikami *.bmp),
- procedury testujące naświetlanie z wykorzystaniem stołu planarnego umożliwiające naświetlanie płytek drukowanych o wymiarach 15 x 25 cm.

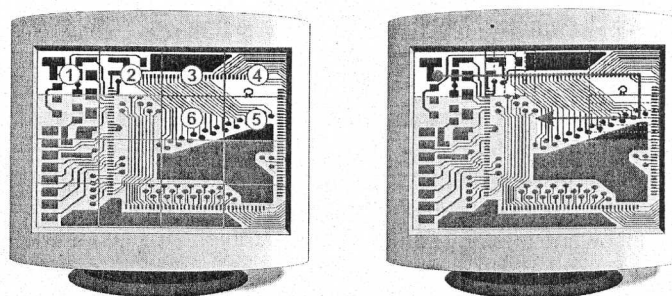
Przykładowe wyniki naświetlania z wykorzystaniem powyższych funkcji przedstawione zostały na rys. 4.



Rys. 4. Przykłady naświetlania różnych wzorów na płytkach drukowanych prezentujące możliwości programu sterującego procesem naświetlania

Fig. 4. Examples of electric circuit patterns on PCB, which show LDI system capabilities

Na rysunku 5. przedstawiono dwa sposoby naświetlania schematu na PCB. Pierwszy sposób polega na podzieleniu całego schematu na podobszary o wymiarach 5 x 5 cm (lub mniejsze) i kolejnym naświetlaniu każdego z nich, wykorzystując stół planarny do przesunięcia PCB do kolejnego obszaru. Natomiast drugi sposób polega na naświetlaniu całego obszaru PCB od razu, wykorzystując w tym celu ruch jednego ze zwierciadeł skanera optycznego w kierunku osi Y oraz ruch stołu planarnego w kierunku osi X. Ten sposób opiera się na danych zapisanych rastrowo (metoda naświetlania rastrowego).



Rys. 5. Sposoby naświetlania PCB o wymiarach większych niż 5 x 5 cm, a) sposób z podziałem obszaru PCB na mniejsze fragmenty, b) sposób ciągłego naświetlania metodą rastrową

Podsumowanie

W niniejszym artykule zaprezentowano metodę i urządzenie do laserowego bezpośredniego naświetlania płytek drukowanych w technologii LDI. Skonstruowane urządzenie obecnie umożliwia naświetlanie ścieżek w warstwie fotopolimeru o gęstości upakowania 50/50 μm. Urządzenie to, jak na razie, może znaleźć zastosowanie przy produkcji prototypowych płytek drukowanych o wysokiej skali integracji układów elektronicznych (np. do produkcji płytek wielowarstwowych). Urządzeniem tym można naświetlać płytki o rozmiarze 15 x 25 cm.

Literatura

- [1] Süllau A., Wiemers A.: Laser Direct Imaging. ILFA Publication, 1999.
- [2] Barclay B., Morrell M.: Laser Direct Imaging - A User Perspective. Leiterplatten Magazine, 7-8, 2001.
- [3] Omer Udi: Laser Direct Imaging - A Comprehensive Imaging Solution for HDI. Presented at the TPCA Show, 2001.

Zastosowanie superkondensatorów w autonomicznych systemach fotowoltaicznych

mgr inż. WOJCIECH GRZESIAK¹, mgr TOMASZ MAJ¹, mgr inż. JERZY PO CZĄTEK¹,
dr hab. EWA RADZIEMSKA²

¹Institut Technologii Elektronowej, Oddział w Krakowie

²Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny

Superkondensatory (ang. *supercapacitors*, *ultracapacitors*, *double-layer capacitors*, *gold capacitors* and *power capacitors*) stanowią istotną nowość w energetyce prądu stałego, zwłaszcza w dziedzinie magazynowania i oddawania energii. Wprawdzie pierwsze sugestie odnośnie ich konstrukcji i zastosowań datują się już od roku 1960 [1], to konkretne rozwiązania związane z technologią wytwarzania oraz wykorzystaniem cech zaistniały dopiero w ostatnim dziesięcioleciu ubiegłego wieku i wciąż podlegają badaniom i udoskonaleniom. Decydujący bodziec stanowią tu m.in. obiecujące zastosowania w trakcji kołowej oraz technice wojskowej, zwłaszcza do wystawiania laserów impulsowych wielkiej mocy.

Historycznie pierwszym kondensatorem w dzisiejszym znaczeniu, dysponującym parą okładek i dielektrykiem, była tzw. butelka lejdejska, zbudowana już w 1746 r. przez Musschen-

broek'a w Lejdzie w Holandii. Przy ogólnych cechach zbliżonych do cech akumulatorów, superkondensatory wyróżniają się nieosiągalną dla akumulatorów zdolnością do szybkiego ładowania prądem o dużym natężeniu oraz do chwilowego, jeszcze szybszego, oddawania dużej mocy i prądu. Ponadto superkondensatory cechuje większa gęstość energii, niż ma to miejsce w innych kondensatorach, większa gęstość mocy niż w akumulatorach oraz wielokrotnie wyższa osiągalna liczba cykli ładowania i rozładowania w porównaniu z akumulatorami, sięgająca miliona cykli. Surowce użyte do produkcji superkondensatorów charakteryzują się niewielką toksycznością i cechują się przeciętną dostępnością. Z racji swojej rozległej działalności w dziedzinie fotowoltaiki autorzy podjęli i zaprezentowali pionierskie próby zastosowania superkondensatorów jako jedynego lub wspierającego źródła służącego do gromadzenia energii PV w autonomicznych instalacjach.