

Urządzenie laserowe do bezpośredniego naświetlania gęsto upakowanych schematów obwodów elektrycznych na płytkach drukowanych

Streszczenie. Obecnie do przenoszenia wzoru schematu połączeń elektrycznych z kliszy na warstwę fotopolimeru na płytce drukowanej stosuje się metodę fotolitograficzną. Metoda ta jest zadowalająca dla płytek drukowanych, w których gęstość upakowania ścieżek jest większa niż 120 $\mu\text{m}/120 \mu\text{m}$ (szerokość ścieżki/szerokość odstępu pomiędzy ścieżkami). Metoda bezpośredniego naświetlania obwodów elektrycznych jest stosowana dla uzyskania większej gęstości ścieżek. W niniejszym artykule zaprezentowano prototypowe urządzenie, którego działanie oparte jest na tej metodzie.

Abstract. Recently, the most popular method to manufacture electric circuit patterns on PCB is photolithography. This method is useless, if density of interconnections on PCB goes below 120 $\mu\text{m}/120 \mu\text{m}$ (track/space width). Laser Direct Imaging method is a solution, in case of higher density of interconnections on PCB. This article describes design of prototype system for Laser Direct Imaging. (**Laser system for direct imaging of high density interconnects on PCB**).

Słowa kluczowe: Płytki drukowane (PCB), wysoka gęstość upakowania ścieżek elektrycznych, fotopolimery, laser UV, naświetlania laserowe.

Keywords: Printed Circuits Board (PCB), high density of interconnects, photoresists, UV lasers, laser imaging.

Wprowadzenie

Płytki drukowane są jednym z głównych elementów składowych urządzeń elektronicznych. Dążenie do miniaturyzacji układów elektronicznych, szczególnie widoczne w ostatnim dziesięcioleciu, wymusza miniaturyzację połączeń elektrycznych na płytkach drukowanych. Podstawowym parametrem określającym stopień miniaturyzacji połączeń elektrycznych na płytkach drukowanych jest tzw. gęstość upakowania ścieżek elektrycznych. Parametr ten klasyfikuje płytki drukowane pod względem minimalnych szerokości ścieżek elektrycznych oraz odstępów między nimi. Wytwarzanie mikro-połączeń o dużej gęstości upakowania (czyli w tzw. technologii HDI – High Density Interconnect) wymaga zastosowania rozwiązań umożliwiających wykonywanie na płytce drukowanej coraz większej ilości ścieżek elektrycznych przy coraz mniejszych odległościach pomiędzy nimi. Dotychczas stosowane metody, takie jak strukturyzacja i sitodruk nie nadają się do wytwarzania ścieżek o szerokościach mniejszych niż 200 μm . Doświadczenia firm zajmujących się naświetlaniem ścieżek na płytkach drukowanych metodą fotolitograficzną pokazały, że metoda fotolitograficzna nadaje się jedynie do płytek ze ścieżkami o minimalnej gęstości upakowania 120 $\mu\text{m}/120 \mu\text{m}$ (szerokość ścieżki/ szerokość odstępu). Wynika to przede wszystkim z ograniczeń związanych ze stosowaniem klisz fotograficznych w procesie naświetlania schematów obwodów elektrycznych. Ograniczenia te to m.in. [1]:

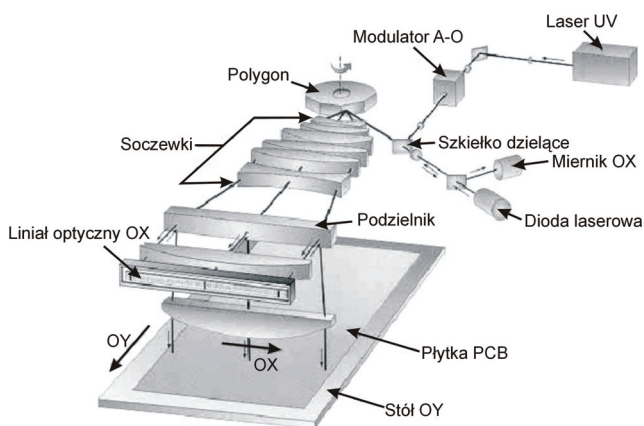
- niska kontrastowość pomiędzy ścieżkami naświetlonymi a obszarem nienaświetlonym,
- możliwość zmiany wymiarów wzorów obwodów elektrycznych na kliszy z powodu zużycia kliszy, wpływu temperatury oraz wilgotności,
- trudność w utrzymaniu odpowiedniej czystości klisz.

Problemy z uzyskaniem wysokiej gęstości upakowania ścieżek na płytkach drukowanych za pomocą metody fotolitograficznej spowodowały, iż około roku 2000 rozpoczęto prace nad zupełnie nową metodą i nowym urządzeniem do naświetlania schematów obwodów elektrycznych na płytkach drukowanych. Metodę tą nazwano Laser Direct Imaging (LDI) [2]. Polega ona na bezpośrednim naświetlaniu schematu obwodów

elektrycznych w warstwie fotopolimeru, nałożonego na powierzchnię miedzi na podłożu płytki drukowanej, za pomocą zogniskowanej ultrafioletowej (UV) wiązki laserowej. Dzięki pojawieniu się na rynku laserów UV (wysokoczęstotliwościowe lasery na ciele stałym z podwajaniem częstotliwości) o parametrach, umożliwiających wykorzystanie ich w urządzeniach LDI, powstało ostatnio kilka nowoczesnych urządzeń laserowych do naświetlania schematów obwodów elektrycznych na płytkach drukowanych. Spośród nich urządzenie LDI produkcji firmy Orbotech jest urządzeniem najbardziej zaawansowanym technicznie. Jedną z głównych zalet tego urządzenia jest przede wszystkim możliwość naświetlania schematów obwodów elektrycznych o gęstości upakowania ścieżek wynoszącej około 15 $\mu\text{m}/15 \mu\text{m}$ (Paragon 9000 - model z roku 2008). Urządzenie to umożliwia naświetlenie około 160 płytek o wymiarach 60 cm x 40 cm w ciągu jednej godziny. Niestety z tego powodu, że w urządzeniu Paragon 9000 zastosowane są zaawansowane technicznie i bardzo drogie elementy opto-mechaniczne, cena tego urządzenia jest bardzo wysoka. Wynosi ona około 1 mln Euro.

Zapotrzebowanie na płytki drukowane o wysokiej gęstości upakowania na świecie i w Polsce z roku na rok rośnie. W Polsce produkcją płytek drukowanych (z obwodami elektrycznymi) zajmują się przede wszystkim małe i średnie przedsiębiorstwa. Żadne z nich nie jest w stanie zakupić urządzenia takiego jak Paragon 9000. Dla polskich firm bardziej ekonomiczne jest zamawianie usługi wykonania płytki z obwodami elektrycznymi o wysokiej gęstości upakowania za granicą. W tej sytuacji brak bezpośredniego dostępu do zaawansowanego urządzenia do laserowego naświetlania gęsto upakowanych schematów obwodów elektrycznych zmniejsza konkurencyjność na rynku światowym polskich firm produkujących płytki drukowane. Aby to zmienić, po wstępnych badaniach procesu naświetlania laserowego zdecydowaliśmy się na opracowanie i zbudowanie tańszego urządzenia do naświetlania płytek drukowanych, które swoją funkcjonalnością dorównywałoby droższymi urządzeniami zagranicznym. Przy realizacji tego pomysłu należało jednak pamiętać, że podstawowym parametrem umożliwiającym wprowadzenie urządzenia LDI na polski rynek jest przystępna cena. Z tego powodu konieczne stało

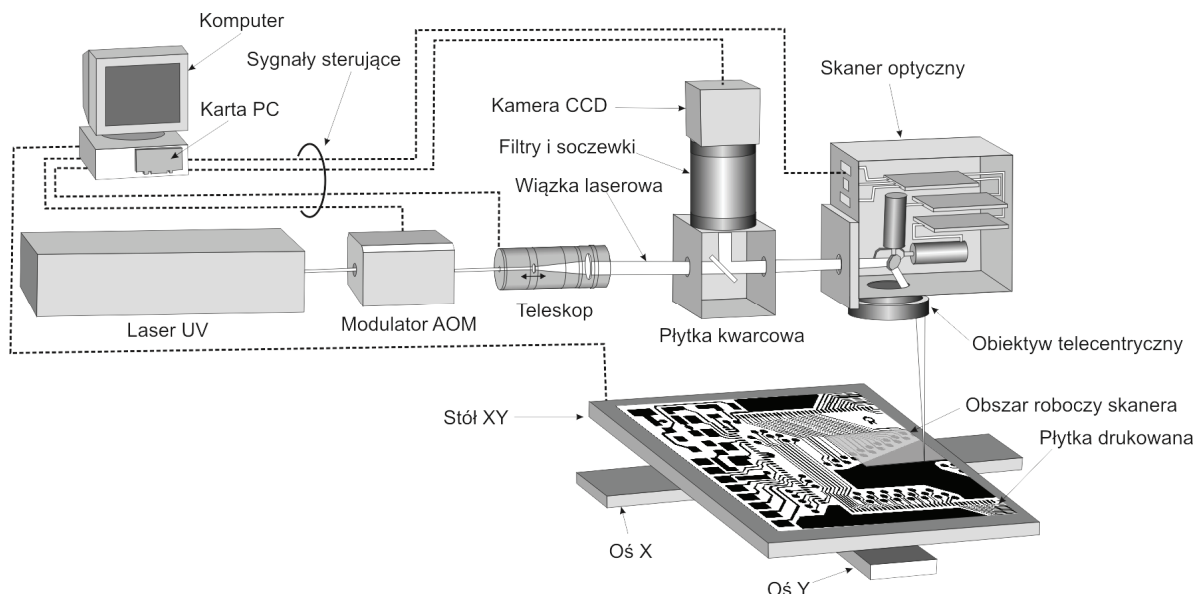
się opracowanie „własnej” metody laserowego naświetlania schematów obwodów elektrycznych. Założyliśmy, że nasza „własna” metoda naświetlania schematów obwodów elektrycznych będzie modyfikacją metody LDI, polegającą na zastosowaniu typowych, a więc stosunkowo niedrogich układów opto-mechanicznych, między innymi tzw. skanerów optycznych. W komercyjnych urządzeniach LDI (np. Paragon 9000 firmy Orbotech) układ do naświetlania fotopolimeru składa się z wielkogabarytowych, wieloelementowych, drogich modułów optycznych (rys. 1), czego należało uniknąć w naszym urządzeniu.



Rys. 1. Schemat ideowy urządzenia komercyjnego Paragon 9000 firmy Orbotech [3]

Nasza "własna" metoda naświetlania schematów obwodów elektrycznych na płytkach drukowanych, po przejściu pomyślnych testów w laboratoryjnym urządzeniu do naświetlania, została zaadaptowana w prototypie urządzenia komercyjnego, które jest obecnie testowane i modyfikowane [4]. W niniejszym artykule omówiona została zaproponowana przez nas metoda naświetlania schematów obwodów elektrycznych w warstwie fotopolimeru oraz opisany został prototyp urządzenia komercyjnego.

Schemat ideowy urządzenia LDI



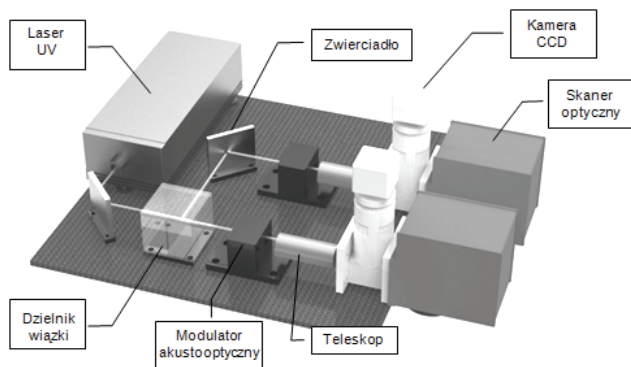
Rys. 2. Schemat ideowy urządzenia LDI

Główną ideą w konstrukcji urządzenia LDI jest zastosowanie skanerów optycznych i stołu przesuwnego XY w procesie naświetlania schematów obwodów elektrycznych. Zastosowane w prototypie urządzenia LDI skanery optyczne i stół XY charakteryzują się wysoką precyzją ($\pm 2 \mu\text{m}$) pozycjonowania wiązki laserowej w obszarze roboczym (czyli na powierzchni fotopolimeru) dzięki czemu możliwe jest uzyskanie precyzji naświetlania porównywalnej z urządzeniami komercyjnymi. Ważne jest, że rozwiązanie takie jest tańsze, niż np. rozwiązanie zastosowane w urządzeniu Paragon 9000, polegające na użyciu zestawu 10 wielkogabarytowych kwarcowych elementów optycznych (technologia Large Scan Optics).

Na rys. 2 przedstawiono schemat ideowy urządzenia LDI. Wiązka laserowa z lasera UV (średnica wiązki - 1 mm, moc średnia - 1W, częstotliwość 100 kHz - quasi-CW) trafia do modulatora akusto-optycznego (AOM), w którym wiązka jest modulowana w trybie on-off. Następnie wiązka laserowa zostaje poszerzona w teleskopie do średnicy około 0,8 cm. Teleskop posiada jedną ruchomą soczewkę. Zmieniając jej położenie, zmienia się także położenie ogniska wiązki laserowej. Pozwala to na precyzyjne zogniskowanie wiązki laserowej na płytkach drukowanych o różnej grubości płytki jedno-, dwu-, lub wielowarstwowe). Za teleskopem wiązka laserowa przechodzi przez układ optyczny służący do obserwacji obszaru naświetlania. Wewnątrz układu optycznego znajduje się kwarcowa płytka, która rzutuje obraz obszaru roboczego skanera na matrycę kamery CCD. Układ ten służy do pozycjonowania płytki drukowanej na podstawie wcześniej wykonanych znaczników. Dzięki temu także jest możliwe naświetlanie schematów obwodów związanych z kolejnymi procesami produkcyjnymi np. przy nanoszeniu maski przeciwłutowej. Ostatecznie wiązka laserowa trafia do skanera optycznego, gdzie jest odchylana za pomocą galwo-zwierciadeł w kierunku płytki drukowanej pokrytej fotopolimerem. Wiązka laserowa jest ogniskowana za pomocą soczewki telecentrycznej, która sprawia, że wiązka laserowa pada na powierzchnię fotopolimeru prostopadle do jego powierzchni. Pozwala to na zapewnienie jednakowej jakości (jednorodności) naświetlania, niezależnie od kąta odchylenia wiązki wewnątrz skanera optycznego.

Wiązka laserowa jest ogniskowana do plamki o średnicy 25 μm . Tym samym minimalny rozmiar naświetlanych ścieżek także wynosi 25 μm . Płytkę drukowaną umieszcza się na stole przesuwym XY, który składa się z platformy poruszanej przez dwa silniki liniowe przesuwające ją w osi X i Y. Komputer PC, który jest wyposażony w odpowiednie karty sterujące, kontroluje pracę następujących układów: modulatora akusto-optycznego, teleskopu, skanera optycznego oraz stołu XY (poprzez odpowiednie sterowniki i układy zasilające). Sygnały, jakie trafiają do komputera, pochodzą głównie z kamery CCD oraz enkoderów położenia na silnikach liniowych stołu XY. Informacje te służą do korekcji położenia płytki drukowanej w stosunku do położenia wiązki laserowej.

Aby zwiększyć wydajność procesu naświetlania zdecydowano się na zastosowanie układu dwóch skanerów, zamiast jednego skanera oraz sprzężenia pracy tych skanerów z przesuwem stołu XY. Na rys. 3 przedstawiono widok głównych elementów urządzenia LDI, tworzących tor optyczny dla układu z dwoma skanerami.



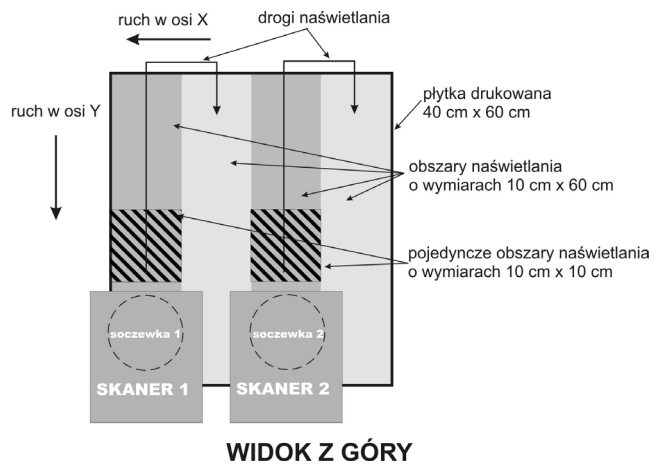
Rys. 3. Tor optyczny prototypu urządzenia LDI

Jak widać na rys. 3, wiązka po wyjściu z lasera UV jest dzielona na dwie identyczne wiązki w dzielniku, który w 50% przepuszcza a w 50% odbija wiązkę laserową. Aby umożliwić niezależną modulację obu wiązek w trybie on-off, zastosowano dwa modulatory akusto-optyczne. Dzięki modulacji wiązki laserowej za pomocą dwóch modulatorów AOM, możliwe jest naświetlanie na płytce dwóch różnych fragmentów wzoru obwodu elektrycznego w tym samym czasie. Parametry procesu naświetlania w obu naświetlanych miejscach będą identyczne, gdyż źródłem promieniowania UV jest jeden laser.

Prototyp urządzenia LDI był konstruowany pod kątem naświetlania płytek o maksymalnym rozmiarze 40 cm x 60 cm. Uwzględniając to wymaganie zaproponowaliśmy następujący sposób naświetlania schematów obwodów elektrycznych w warstwie fotonopolimeru za pomocą dwóch skanerów i stołu XY (rys. 4).

Zastosowanie dwóch skanerów optycznych oraz stołu XY w procesie naświetlania obszaru o rozmiarach 60 cm x 40 cm wymagało opracowania specjalnego algorytmu komputerowego, umożliwiającego podział wzoru schematu obwodu elektrycznego na pojedyncze podobszary o rozmiarach 10 cm x 10 cm, odpowiadających maksymalnemu rozmiarowi obszaru roboczego skanera optycznego. Program komputerowy wykorzystujący ten algorytm przesyła odpowiednie fragmenty wzoru do poszczególnych skanerów oraz koordynuje ich pracę ze stołem XY, który przesuwa płytkę drukowaną w miejsce następnego fragmentu wzoru. Z rys. 4 widać, że aby naświetlić cały obszar o rozmiarze 60 cm x 40 cm, konieczne jest przesunięcie płytki drukowanej trzy razy w

kierunku osi Y (dwa przebiegi), natomiast jeden raz w kierunku osi X. Odzworowanie schematów obwodów elektrycznych odbywa się metodą wektorową, która zapewnia dużo większą wydajność naświetlania w porównaniu do metody rastrowej (wiązka laserowa nie skanuje całego obszaru naświetlania, a jedynie przemieszcza się do konkretnych punktów zgodnie z danymi zapisanymi w pliku z danymi do naświetlania).



WIDOK Z GÓRY

Rys. 4. Sposób naświetlania płytki drukowanej o rozmiarze 40 cm x 60 cm za pomocą dwóch skanerów

Prototyp urządzenia LDI umożliwia naświetlanie schematów obwodów elektrycznych o gęstości upakowania 25 $\mu\text{m}/25 \mu\text{m}$, co jest obecnie gęstością w pełni zadowalającą potrzeby rodzimego rynku płytek drukowanych, na którym większość zamówień dotyczy podstawowych płytek dwustronnych. Jednakże, zapotrzebowanie na płytki drukowane z obwodami elektrycznymi o większej gęstości upakowania ścieżek rośnie (płytki wielowarstwowe). Opracowany prototyp urządzenia LDI wychodzi naprzeciw coraz większym wymaganiom producentów płytek drukowanych do urządzeń o wysokim stopniu integracji mikroukładów elektronicznych.

Wykonane przez nas testy wykazały, że naświetlanie średnio zagęszczonego obwodu elektrycznego (10 % powierzchni zajmowane przez ścieżki elektryczne) na płytce o wymiarach 60 cm x 40 cm trwa około 2 – 3 minuty. Jest to znacznie mniejsza wydajność niż oferowana przez obecne na rynku urządzenia komercyjne. Jednakże jest to wydajność satysfakcjonująca wiele małych polskich firm elektronicznych. Na podstawie analizy cen poszczególnych elementów koszt wyprodukowania urządzenia LDI szacowany jest na 300 - 350 tys. zł. W porównaniu do obecnie oferowanych urządzeń LDI jest to około 10 razy mniej.

Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym artykule urządzenie LDI charakteryzuje się następującymi parametrami:

- minimalny rozmiar naświetlanej ścieżki 25 μm ,
- maksymalna gęstość upakowania ścieżek 25 $\mu\text{m}/25 \mu\text{m}$,
- dokładność pozycjonowania wiązki laserowej $\pm 2 \mu\text{m}$,
- maksymalny obszar naświetlania 60 cm x 40 cm,
- czas naświetlania pełnego obszaru - od 3 min do 30 min,
- grubość naświetlanych materiałów 25 μm - 8 mm,
- długość fali promieniowania UV - 355 nm.

Obecnie urządzenie to jest testowane. Po pomyślnych testach na rzeczywistej linii produkcyjnej w zakładzie wytwarzającym obwody elektryczne na płytkach

drukowanych, niektóre z rozwiązań technicznych zostaną opatentowane, natomiast samo urządzenie zostanie skierowane do produkcji przez wytypowaną w tym celu firmę konstrukcyjną. Urządzenie to jest adresowane przede wszystkim do polskich wytwórców obwodów drukowanych. Zastosowanie przez nich takiego urządzenia powinno zdecydowanie obniżyć koszty wytwarzania najbardziej zaawansowanych płytek drukowanych. Możliwość wykonywania płytek drukowanych o wysokim stopniu zagęszczenia na miejscu w danej firmie podniesie jej konkurencyjność nie tylko w Polsce ale także na rynku zagranicznym.

Niniejsza praca badawcza jest prowadzona w ramach projektu badawczo-rozwojowego MNiSW nr NR02006106 oraz współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

LITERATURA

- [1] Vaucher Ch., LDI and projection lithography, The sharper image, September 1, 2000, www.circuitree.com
- [2] Barclay B., Morrell M., Laser Direct Imaging – A User Perspective, *Leiterplatten magazine*, s. 7-8, 2001
- [3] Sullau A., Wiemers A., Laser Direct Imaging, *ILFA Publications*, s. 465, 1999

- [4] Barbuca R., Kocik M., Mizeraczyk J., Laserowa metoda odwzorowania schematu połączeń obwodów elektrycznych o wysokiej gęstości upakowania na płytkach drukowanych, *Elektronika*, 11, s. 52-54, 2008

Autorzy:

mgr inż. Robert Barbuca, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, ul. Fiszerza 14, 80-231 Gdańsk, E-mail: brobert@imp.gda.pl;

mgr inż. Michał Janke, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, ul. Fiszerza 14, 80-231 Gdańsk, E-mail: mjanke@imp.gda.pl;

mgr inż. Katarzyna Garasz, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, ul. Fiszerza 14, 80-231 Gdańsk, E-mail: kgarasz@imp.gda.pl;

dr Marek Kocik, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, ul. Fiszerza 14, 80-231 Gdańsk, E-mail: kocik@imp.gda.pl;

mgr inż. Mateusz Tański, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, ul. Fiszerza 14, 80-231 Gdańsk, E-mail: tanski@imp.gda.pl;

prof. dr hab. inż. Jerzy Mizeraczyk, 1) Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, ul. Fiszerza 14, 80-231 Gdańsk, 2) Akademia Morska, Katedra Elektroniki Morskiej, Wydział Elektryczny, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, E-mail: jmiz@imp.gda.pl;