

**PIĄTA  
KRAJOWA KONFERENCJA ELEKTRONIKI**

**MATERIAŁY KONFERENCJI**

tom 2/2

**ORGANIZATOR:**

Wydział Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej

PATRONAT MEDIATYNY

Rysunek 5a ilustruje wysoką intensywność zliczeń jonów chromu i żelaza oraz znacznie mniejszą intensywność jonów sodu, potasu i wapnia. Maksyma intensywności zliczeń jonów metali znajdują się w pobliżu powierzchni podłoża krzemowego. Prezentowane na Rys. 5b wyniki pozwalają przypuszczać, że do zanieczyszczenia próbek metalami dochodzi zarówno w trakcie pierwszego etapu procesu rozpylania jonowego przeprowadzanego wewnątrz metalowej komory reaktora jak i w drugim etapie nanoszenia warstwy DLC o czym mogą świadczyć dwa maksima intensywności zliczeń jonów żelaza i chromu. Intensywność zliczeń innych jonów metalu jest w tym przypadku bardzo mała niemal trzy rzędy wielkości mniejsza niż dla Fe i Cr.

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy zbadano skład chemiczny warstwy DLC i obszaru przejściowego układu DLC/Si rejestrując profile głębokościowe stężenia jonów ujemnych i dodatnich przy zastosowaniu spektrometrii jonów wtórnych z analizą czasu przelotu. Analiza profili stężeń jonów tlenu oraz jonów sodu i potasu pozwala wyciągnąć wnioski, iż w metodzie RF CVD w pierwszym etapie procesu trawienia jonowego podłoża nie następuje usunięcie warstwy tlenu krzemu ani innych zanieczyszczeń, których źródłem jest otaczająca podłoże atmosfera. Analiza profili stężeń różnych układów DLC/Si pozwoliła na skorelowanie rozkładu jonów C, H, O, Fe, Cr, Na, K, Ca i Si z parametrami obu etapów procesu nanoszenia warstwy DLC. Wraz ze wzrostem bezwzględnej wartości potencjału  $V_{sb}$  atomy węgla oraz tlenu (obecnego na powierzchni krzemu w warstwie  $SiO_2$ ) wbudowują się głębiej w podłoże krzemowe.

Profile stężenia jonów dodatnich pozwoliły na rejestrację jonów metali, które przede wszystkim występują w obszarze przejściowym pomiędzy warstwą DLC i podłożem krzemowym. Wraz ze wzrostem potencjału katody  $V_{sb}$  metale wbudowują się głębiej w podłoże. Przeprowadzony eksperyment wskazuje, że jony żelaza i chromu przede wszystkim wbudowują się w podłoże krzemowe w pierwszym etapie procesu nanoszenia czyli w procesie trawienia jonowego, w trakcie którego stosuje się znacznie większe wartości potencjału oraz w mniejszym stopniu w trakcie nanoszenia warstwy DLC. Źródłem atomów metali są metalowe elementy komory reaktora plazmowego.

Ze względu na adhezję warstw DLC do podłoża krzemowego efekt związany z wbudowywaniem w obszar przejściowy układu DLC/Si takich pierwiastków jak węgiel, tlen, żelazo i chrom może być efektem pożądanym, choć ze względu na aplikację układów DLC/Si w elektronice może stanowić istotne utrudnienie [4,5]. Uzyskane w pracy rezultaty stanowią źródło informacji dla technologów wytwarzających warstwy DLC przy użyciu metody RF CVD.

#### PODZIĘKOWANIA

Badania finansowane w ramach projektu KBN Nr 3 T11B 050 26 (2005-2007).

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] T. Paryczak, M. I. Szykowska, „Spektrometria mas jonów wtórnych z analizatorem czasu przelotu jonów (TOF-SIMS) w badaniach fizykochemicznych powierzchni ciał stałych”, Przemysł chemiczny 82/3, pp.199-206, 2003.
- [2] J. Haś, S. Mitura, B. Wendler, in Takagi T. Proc. International Ion Engineering Congress: ISIA&IPAT'83, Kyoto, Japan, 12-16 Sept., p. 1143-1145, 1983.
- [3] M. Okada, „Analyses of the Si-C bond in the interface between diamond-like carbon film and silicon wafer”, Diamond and Related Materials 7, pp. 1308-1319, 1998.
- [4] J. Szmidt, „Technologie diamentowe. Diamenty w elektronice”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, p. 152, 2005
- [5] E. Staryga, G.W. Bąk, „Relation between physical structure and electrical properties of diamond-like carbon thin films”, Diamond and Related Materials 14, pp. 23 - 34, 2005.

## KRAJOWA KONFERENCJA ELEKTRONIKI

Darlówko Wschodnie, 12-14 czerwca 2006

Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki

**Robert Barbucha**

**Marek Kocik**

Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej,

Instytut Maszyn Przeplywowych,

ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk

**Grażyna Kozioł**

**Janusz Borecki**

Zakład Badawczy Technologii

Płytek Drukowanych,

Instytut Tele i-Radiotechniczny,

ul. Ratuszowa 11, 00-452 Warszawa

**Jerzy Mizeraczyk**

Katedra Elektroniki Morskiej,

Wydział Elektryczny,

Akademia Morska;

ul. Morska 81-87

81-225 Gdynia

## Laboratoryjne urządzenie do bezpośredniego naświetlania laserowego

**Słowa kluczowe:** Laser Direct Imaging (LDI), płytki drukowane (PCB), fotopolimery, naświetlanie laserowe,

### STRESZCZENIE

Nowocześnie urządzenia elektroniczne są budowane z coraz mniejszych i sprawniejszych układów elektronicznych. Ma to wpływ na wymagania stawiane producentom PCB odnośnie gęstości upakowania ścieżek. Za pomocą konwencjonalnych metod produkcji PCB możliwe jest osiągnięcie gęstości upakowania ścieżek na poziomie 150/150  $\mu\text{m}$  (szerokość ścieżki/odstęp pomiędzy ścieżkami) [1]. Jednak obecnie na świecie istnieją nowoczesne technologie umożliwiające otrzymywanie ścieżek o gęstości upakowania na poziomie 50/50  $\mu\text{m}$ .

W niniejszym artykule przedstawiono laboratoryjne urządzenie do bezpośredniego naświetlania ścieżek elektronicznych na PCB pokrytym fotopolimerem wykorzystujące w tym celu technologię LDI (Laser Direct Imaging). Urządzenie to umożliwia naświetlanie ścieżek o gęstości upakowania 50/50  $\mu\text{m}$ . Zostały zaprezentowane również przykładowe wzory naświetlonej mozaiki ścieżek, oraz wzory testowe przedstawiające gęstość upakowania ścieżek.

### 1. WPROWADZENIE

Wciąż rosnąca miniaturyzacja oraz złożoność układów elektronicznych ma istotny wpływ na wymagania stawiane producentom PCB. Jednak dostęp do nowoczesnych rozwiązań technologicznych jest często ograniczony ze względu na ich wysokie koszty. Dlatego prowadzone są badania naukowe nad opracowaniem tańszych, konkurencyjnych technologii.

Jednym z ważniejszych procesów technologicznych podczas produkcji PCB jest wytworzenie wzoru mozaiki ścieżek elektronicznych na warstwie miedzi pokrywającej PCB. Krytycznym elementem tego procesu jest naświetlanie mozaiki ścieżek w warstwie światłoczułego polimeru nałożonego na warstwę miedzi. Standardowo proces naświetlania mozaiki odbywa się w kopiarkach emitujących promieniowanie UV, w których naświetla się

powierzchnię fotopolimeru poprzez nalożoną na niego fotomaskę. W fotomasce wykonywany jest negatywny wzór mozaiki ścieżek. Minimalne rozmiary ścieżek, możliwe do osiągnięcia w tej technologii, wynoszą 150  $\mu\text{m}$ , natomiast minimalna średnica otworu to 200  $\mu\text{m}$ . Aby zbliżyć się do gęstości upakowania wynoszącej 50/50  $\mu\text{m}$ , opracowano technologię LDI (Laser Direct Imaging), która zapewnia wysoki stopień upakowania ścieżek[2].

Niniejszy artykuł ma na celu zaprezentowanie możliwości laboratoryjnego urządzenia pracującego w technologii LDI (Laser Direct Imaging) do bezpośredniego naświetlania PCB pokrytych fotopolimerem. W artykule zaprezentowano również przykładowe próbki naświetlania PCB składające się ze ścieżek o różnej gęstości upakowania.

## 2. LABORATORYJNE URZĄDZENIE DO LDI

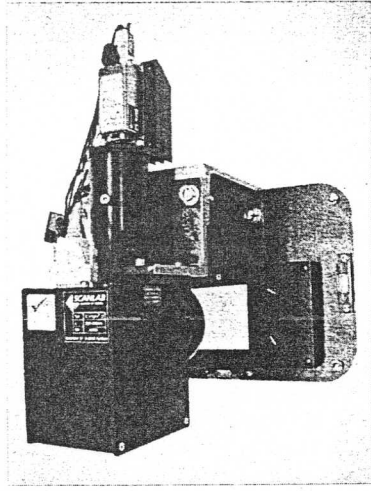
W laboratoryjnym urządzeniu do LDI (rys. 1) jako źródło promieniowania UV wykorzystano laser diodowy CUBE ( $\lambda=375\text{ nm}$ ) firmy Coherent. Laser generuje ciągłe promieniowanie UV o średniej mocy wyjściowej 8,36 mW. Wiązka laserowa może być modulowana z częstotliwością 150 MHz. W laserze wbudowany jest kolimator, który poprawia właściwości geometryczne wiązki laserowej.

Do skanowania powierzchni PCB wiązką laserową, został użyty skaner optyczny firmy Scanlab. Skaner optyczny składa się z dwóch precyzyjnych silników krokowych z zamocowanymi lustrami odbijającymi promieniowanie UV. Maksymalna prędkość przemieszczania wiązki laserowej po powierzchni PCB wynosi 1 m/s. Zamontowany w skanerze obiektowy typu „plane field” o ogniskowej 100 mm umożliwia naświetlanie bez zniekształceń obszar o wymiarach 5 cm x 5 cm.

W laboratoryjnym urządzeniu do LDI zastosowano także teleskop, który umożliwia szybkość (16 rad/s) zmianę średnicy wiązki laserowej poprzez kontrolowany ruch jednej z soczewek teleskopu. Teleskop ten poszerza średnicę wiązki z 1 mm do 2,5 mm. W połączeniu ze skanerem optycznym, teleskop umożliwia płynną zmianę średnicy „plamki laserowej” na powierzchni PCB. Dzięki temu położenie „plamki laserowej” na PCB może być kontrolowane w trzech wymiarach, a w rezultacie możliwe jest otrzymanie wzorów o różnych szerokościach linii. Jednak teleskop jest wykorzystywany jedynie do precyzyjnego ustawienia szerokości najcięższych ścieżek, gdyż jego parametry pozwalają jedynie na zmianę szerokości naświetlanych ścieżek w zakresie 30  $\mu\text{m}$ .

Laboratoryjne urządzenie do bezpośredniego naświetlania ścieżek na PCB posiada również specjalną funkcję naświetlania ścieżek o zadanej grubości. Polega ona na tym, iż do liniowego ruchu plamki laserowej na powierzchni PCB dodawany jest ruch kołowy o danej amplitudzie i częstotliwości. Amplituda tego ruchu wyznacza docelową grubość naświetlanej ścieżki. W ten sposób można naświetlać ścieżki o grubościach do 100  $\mu\text{m}$  – 4,5 mm.

Laboratoryjne urządzenie do LDI poprzez zmianę wielu parametrów pozwala na naświetlenie dowolnej ścieżki w zakresie od 40  $\mu\text{m}$  do 4,5 mm. Uniwersalność tego urządzenia powoduje, że może ono znaleźć wiele zastosowań przy wykonywaniu prototypowych obwodów drukowanych. Wadą tego urządzenia jest przede wszystkim mały obszar w który możliwe jest naświetlenie danego wzoru mozaiki ścieżek na PCB. Jednak planuje się powiększenie tego obszaru poprzez zamontowanie tego urządzenia nad stołem XY napędzanym silnikami krokowymi. Będzie się to jednak wiązało z opracowaniem specjalnego oprogramowania komputerowego dzielącego duże wzory na mniejsze, odpowiadające obszarowi robocznemu skanera optycznego.



Rys. 1. Laboratoryjne urządzenie do bezpośredniego naświetlania laserowego

Jednym z niewątpliwych atutów laboratoryjnego urządzenia do LDI jest program komputerowy Scan Maker, służący do sterowania tym urządzeniem. Pozwala on przede wszystkim na pracę z danymi zapisanymi w formacie HPGL (Hewlett Packard Graphics Language) oraz modyfikowanie, skalowanie, transformację i normalizację tych danych. Program ten umożliwia także optymalizację drogi naświetlania w celu skrócenia czasu naświetlania podczas przechodzenia do nowych wektorów ruchu. Poza wieloma funkcjami dotyczącymi obsługi skanera optycznego, lasera UV oraz teleskopu program Scan Maker posiada również opcje służące do testowania procesu naświetlania tj. funkcję generowania linii o różnych grubościach i długościach oraz w różnych odstępach od siebie.

## 3. TESTOWE WZORY NAŚWIETLANE NA PCB

W wyniku przeprowadzonych prób na płytkach PCB pokrytych konwencjonalnym fotopolimerem Laminar 5038 firmy Shipley o czułości w zakresie UV o wartości 35-55  $\text{mJ}/\text{cm}^2$  (dostarczonych przez firmę Technoservice - [www.technoservice.com.pl](http://www.technoservice.com.pl)), wykonano testy naświetlania mozaiki utworzonej z linii.

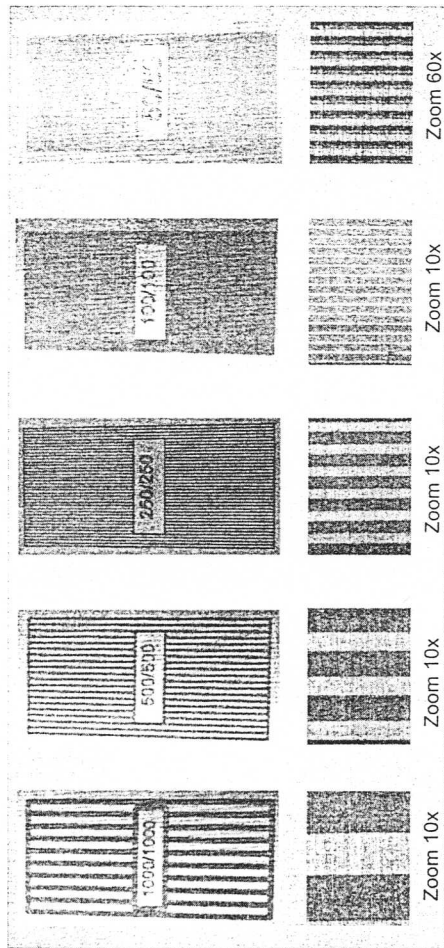
Szerokości naświetlanych linii zawierały się pomiędzy 50  $\mu\text{m}$  - 1 mm. Naświetlanie przeprowadzono w zaciemnionym pomieszczeniu w otoczeniu żółtego światła, które jest neutralne dla większości fotopolimerów. Po naświetleniu płytek PCB przeprowadzono proces ich wywoływania w 1% roztworze węglańu sodu. Naświetlone płytki PCB zanurzano w roztworze  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  do czasu, aż stwierdzono całkowite rozpuszczenie się polimeru w miejscach nienaświetlonych.

Na podstawie wcześniejszych badań w zakresie bezpośredniego naświetlania laserowego [3] naświetlanie płytek PCB wykonano przy stałej prędkości przemieszczania plamki laserowej po powierzchni PCB równej 3  $\text{cm/s}$ . Naświetlanie z prędkością mniejszą niż 2  $\text{cm/s}$  powodowało naświetlenie również okolicznych obszarów. Po wywoływaniu „prześwieconych” płytek PCB było widać cienką błonę spolimeryzowanego fotopolimeru w miejscach, gdzie powinien on zostać rozpuszczony. Natomiast dla prędkości większych niż 5  $\text{cm/s}$  fotopolimer był niedoświetlony. W tym przypadku w miejscach naświetlania powstawała cienka błona fotopolimeru, która łatwo odklejała się od warstwy między podczas wywoływania. Średnica plamki laserowej na powierzchni fotopolimeru wynosiła od 50  $\mu\text{m}$ . Szerokość naświetlanych linii była zmieniana poprzez dodanie do ruchu liniowego na powierzchni PCB dodatkowego ruchu kołowego o ustalonej częstotliwości wynoszącej 1300 Hz oraz zmiennej amplitudzie. Wykonane próbki naświetlania płytek PCB przedstawiają różną gęstość upakowania ścieżek. Szerokości ścieżek zawierały się pomiędzy 50  $\mu\text{m}$  - 1 mm.

Na rysunku 2 są przedstawione próbki naświetlania ścieżek na płytkach PCB

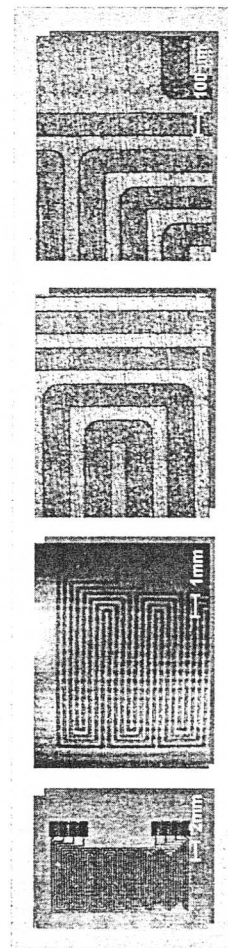


przedstawiające różne gęstości upakowania ścieżek na PCB wraz z powiększeniami fragmentów tych próbek. Przykładowy symbol 1000/1000 na naświetlonej próbce oznacza, że szerokość ścieżki oraz odstęp pomiędzy ścieżkami wynosi 1000  $\mu\text{m}$ . Wymiary próbek to 2 cm x 4 cm. Poniżej zdjęć próbek na rys. 2 znajdują się zdjęcia ścieżek w powiększeniu. Różne szerokości ścieżek zostały uzyskane poprzez dodanie do ruchu liniowego plamki laserowej w obszarze roboczym skanera optycznego, ruchu kołowego o zadanej częstotliwości i amplitudzie. W ten sposób poprzez zmianę amplitudy tego ruchu możliwe było naświetlenie ścieżek z różną grubością.



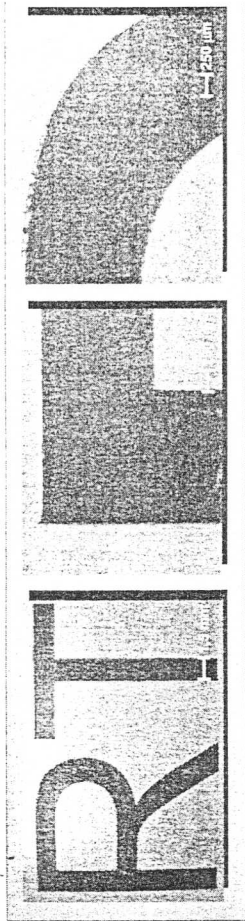
Rys. 2 Naświetlone ścieżki o różnej szerokości i gęstości upakowania na PCB.

Na rysunku 3 jest przedstawione przykładowe zastosowanie bezpośredniego naświetlania laserowego w postaci wzoru nadrukowanej cewki na PCB. Wymiar podłużny wzoru naświetlonej cewki wyniósł 1,9 cm i składał się z siedmiu grzebień. Wzór ten został naświetlony z wykorzystaniem funkcji poszerzania wiązki laserowej poprzez dodanie cyrkulacji o amplitudzie 100  $\mu\text{m}$  w ruchu liniowym plamki laserowej w obszarze roboczym skanera optycznego. Fakt ten można zaobserwować w miejscach gdzie naświetlona linia zakręca (rys. 3). Widać, że natężenie linii jest zaokrąglone.



Rys. 3 Wzór cewki naświetlonej na PCB

Za pomocą urządzenia do bezpośredniego naświetlania laserowego można także naświetlać większe (rys. 4) powierzchnie za zachowaniem dobrej jakości brzegów. Naświetlanie większych obszarów na PCB polega na naświetleniu obrysu danego kształtu oraz wypełnieniu wnętrza kształtu za pomocą równoległych przylegających do siebie linii, które minimalnie na siebie nachodzą.



Rys. 4 Wypełnione wzory liter o wysokości 11 mm

#### 4. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule zaprezentowano laboratoryjne urządzenie do bezpośredniego naświetlania laserowego, jego możliwości oraz przykładowe próbki naświetlania. Urządzenie do bezpośredniego naświetlania laserowego można znaleźć jak na razie zastosowane przy produkcji prototypowych płytek drukowanych o wysokiej skali integracji układów elektronicznych. Jednak jego niewielki obszar roboczy pozwala jedynie na ograniczone wzory. Dlatego kolejnymi aspektem w rozwoju tego urządzenia będzie powiększenie tego obszaru poprzez zastosowanie stolika mikrometrowego XY, którego dokładność przesuwu będzie wynosić 1  $\mu\text{m}$ . Za pomocą tego stołu będzie można przemieszczać naświetlaną płytkę drukowaną do kolejnych obszarów roboczych skanera optycznego i łączyć mniejsze naświetlane obszary w większy wzór.

Urządzenie to, ze względu na niewielką moc zastosowanego lasera UV, nie znajduje zastosowania w przemyśle elektronicznym ale na podstawie jego konstrukcji z powodzeniem można opracować komercyjne urządzenie do LDI. Zaprezentowane powyżej laboratoryjne urządzenie do LDI oraz wstępne wyniki naświetlania mozaiki ścieżek na PCB wykazały, że w warunkach polskich możliwe jest wykonanie komercyjnego urządzenia do LDI. Cena takiego urządzenia mogłaby być atrakcyjna dla małych i średnich przedsiębiorstw wytwarzających płytki PCB w porównaniu do podobnych urządzeń zagranicznych, których cena jest podawana w milionach dolarów. Komercyjne urządzenie do LDI, nie tylko dorównują wydajnością konwencjonalnym urządzeniom do naświetlania PCB w kopiarkach UV, ale są dokładniejsze i oferują większą rozdzielczość naświetlanych wzorów. Dlatego zapotrzebowanie na tego typu urządzenia będzie rosło również w Polsce.

#### PODZIĘKOWANIE

Badania wykonano w ramach Projektu Badawczego MNiI nr 3T11B02027.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Stilla, A. Wiemers „Laser Direct Imaging”, ILFA Publication, 1999
- [2] Udi Omer, „An introduction to laser direct imaging for high density interconnects”, Circuit World 29/1, 32-35, 2002
- [3] R. Barbucha, M. Kocik, J. Mizeraczyk, G. Koziol, J. Borecki „Laserowe odwzorowanie mozaiki ścieżek na płytkach drukowanych” IV Krajowa Konferencja Elektroniki, Dąbrowka Wschodnie, 2005, str. 579-584