

## CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA POWŁOK KONFOREMNYCH

Agata Skwarek<sup>1</sup>, Krzysztof Witek<sup>1</sup>

Technologia zabezpieczania układów elektronicznych za pomocą powłok konforemnych umożliwia zwiększenie stopnia automatyzacji produkcji podzespołów elektronicznych. Powłoki konforemne są cienkimi warstwami o grubości 25 - 50 nm zabezpieczającymi elementy układów przed działaniem takich czynników jak ścieranie, temperatura, ozon, pleśń, wilgoć oraz promieniowanie ultrafioletowe. Własności fizyczne i skład chemiczny powłok gwarantują różny stopień zabezpieczenia przed wspomnianymi czynnikami środowiskowymi. Cechą charakterystyczną tego rodzaju zabezpieczeń jest możliwość dokładnego odwzorowania powierzchni. W artykule przedstawiono zarówno niektóre praktyczne informacje dotyczące powłok konforemnych, jak i wyniki badań własnych dotyczące ich wpływu na niektóre parametry układów.

### 1. CHARAKTERYSTYKA POWŁOK KONFOREMNYCH

W ostatnich latach asortyment podzespołów elektronicznych staje się coraz bardziej zróżnicowany zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i technologicznym. Postępująca miniaturyzacja podzespołów oraz obwodów elektronicznych stawia coraz to nowe wyzwania przed technologiami montażu, zabezpieczania i kontroli modułów elektronicznych. Punktem zwrotnym było wprowadzenie w latach 80-tych technologii montażu powierzchniowego, co następnie zaowocowało w latach 90-tych lawinowym rozwojem wielu rodzajów miniaturowych i subminiaturowych podzespołów czynnych i biernych oraz niezwykle precyzyjnych i szybkich linii technologicznych do ich montażu.

Zabezpieczanie układów elektronicznych za pomocą różnego rodzaju zalew i żywic znane jest i stosowane od kilkadziesiąt lat (*ang. potting*). Jest to klasyczna operacja technologiczna polegająca na nałożeniu grubych, dochodzących nawet do kilku centymetrów warstw. Stosowane są tu jedno i dwuskładnikowe zalewy, głównie epoksydowe, poliuretanowe i silikonowe, наносzone ręcznie, bądź automatycznie. Technologia ta uważana była dotąd za skuteczną jeśli chodzi o jakość zabezpiecze-

---

<sup>1</sup> Instytut Technologii Elektronowej, Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, e-mail: zrsquarek@cyf-kr.edu.pl; zrwitek@cyf-kr.edu.pl

nia, jest jednak uciążliwa, zarówno ze względu na sposób nakładania (konieczność mieszania dwóch składników, zatykanie dysz dozowników itp.), jak i utwardzania (stosunkowo długi czas, zmniejszanie się lepkości zalew, możliwość uszkodzenia elementów elektronicznych na skutek skurczu). W grupie tej, ciekawym i nowatorskim rozwiązaniem jest tzw. grubowarstwowa zalewa typu TWIN-CURE DSL 1600 FLZ firmy Peters, która wstępnie poddawana jest działaniu promieni UV, natomiast później cała powłoka samoczynnie utwardzana jest chemicznie [1].

Dążność do eliminacji wad stosowanej dotychczas technologii, przy jednoczesnym zachowaniu jej istotnych zalet, do których należy zaliczyć głównie zdolność do pełnej i niezawodnej hermetyzacji układu przy stosunkowo niskim koszcie operacji, była powodem do opracowania i wdrożenia nowej technologii zabezpieczania układów znanej pod nazwą *conformal coating* – powłoki konforemne. Cechą charakterystyczną tego typu zabezpieczeń jest dokładność odwzorowania pokrywanej powierzchni. Norma ICP830 dopuszcza grubość powłoki  $50 \pm 25 \mu\text{m}$  dla zastosowań wojskowych. Zbyt grube pokrycie powoduje powstanie pęcherzy, pęknięć lub skurcz materiału, podczas gdy zbyt cienkie – niedostateczne pokrycie wszystkich elementów [2].

Głównym zadaniem powłok konforemnych jest ochrona układów elektronicznych przed szkodliwym wpływem czynników środowiskowych takich jak: wilgoć, grzyby i pleśnie, pyły, korozja, uszkodzenia mechaniczne itp. Przy grubości rzędu kilkunastu mikrometrów powłoki te zabezpieczają również przed działaniem rozpuszczalników i innych substancji chemicznych [3]. Ponadto minimalizują one narastanie dendrytów oraz elektromigrację metali pomiędzy elementami przewodzącymi (pod warunkiem właściwego naniesienia). Technologia powłok konforemnych obejmuje zarówno opracowane nowe typy lakierów zabezpieczających, jak i metody ich nakładania oraz suszenia, w tym również np. bardzo wyrafinowane technicznie urządzenie firmy Asymtec pozwalające na selektywne pokrywanie określonych obszarów obwodów z pominięciem np. gniazd czy łączówek, realizowane w sposób płynny przez programowaną dyszę, bez konieczności stosowania jakichkolwiek przesłon czy masek.

Inną ważną cechą charakterystyczną powłok konforemnych jest ich zdolność do tzw. „oddychania” – odprowadzania wilgoci z komponentów. Aczkolwiek zdolność ta może przyczynić się do powstawania dendrytów w przypadku niewłaściwej technologii nakładania (niezachowania odpowiedniej czystości) powłok konforemnych. Najniebezpieczniejszym zanieczyszczeniem, mogącym powodować powstanie dendrytów, a w następstwie zwarcie, są cząsteczki soli. W przypadku narażenia obwodu zabezpieczonego powłoką konforemną na działanie wilgoci, w skutek działania ciśnienia, w miejscu nad zanieczyszczeniem cząsteczką soli tworzy się pęcherz, który dąży do „uniesienia” powłoki. Cząsteczki wody przenikają do powstałego pęcherza i wraz z solą tworzą przewodzący roztwór elektrolitu, który zapoczątkuje tworzenie się dendrytu. Należy więc podkreślić szczególnie ważną rolę warunków nanoszenia powłok konforemnych [2].

Powłoki konforemne powinny charakteryzować się następującymi cechami [4]:

- jednoskładnikowością,
- niską lepkością porównywalną z wodą,
- długą żywotnością,
- szybkim wysychaniem bez produktów ubocznych,
- zdolnością do wysychania pod elementami,
- naprawialnością,
- możliwością pracy w szerokim zakresie temperatur,
- nietoksycznością,
- dobrą adhezją do różnego typu materiałów,
- niską ceną.

Powszechnie w procesie nakładania warstw powłok konforemnych wykorzystywane są materiały takie jak: akryle, silikony, uretany, epoksydy [5], a także w specjalnych przypadkach, wysokiej klasy polimer o nazwie Parylen (paraksylyleny) pozwalający na zabezpieczenie takich elementów jak gwinty, ostre krawędzie, punkty itp. Polimer ten wykazuje biogodność, co umożliwi jego stosowanie we wszczepialnych urządzeniach medycznych. Właściwości poszczególnych grup powłok konforemnych podano w Tab. 1.

**Tabela 1.** Właściwości poszczególnych grup powłok konforemnych [2].

**Table 1.** Properties of conformal coatings chemical groups [2].

Material	Właściwości			
	Odporność na:	Zakres temperatur pracy (°C)	Naprawialność	Informacje dodatkowe
Akryle	▪ Wilgoć	-65 do 125	Dobra	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stanowią 80% rynku</li> <li>▪ Wytrzymałość napięciowa &gt;1500V</li> </ul>
Silikony	Nagle zmiany temperatury Wilgoć	-65 do 200	Praktycznie niemożliwa	Duża elastyczność warstwy
Uretany	Rozpuszczalniki	-65 do 125	Trudna	Duża twardość i wytrzymałość Skuteczna redukcja ryzyka powstawania wąsów cynowych (tin whiskers)

Materiał	Właściwości			
	Odporność na:	Zakres temperatur pracy (°C)	Naprawialność	Informacje dodatkowe
Epoksydy	Rozpuszczalniki	-65 do 200	Dostateczna	Duży skurcz co może uszkadzać elementy
Paraksylyleny	Doskonała odporność na wiele czynników stresowych	Brak danych	Trudna	Konieczność nanoszenia w próżni Wysokie koszty

Powłoki konforemne nakładane są następującymi metodami:

- z użyciem pędzla lub przez wylewanie (*brush or flow coating*),
- natryskiem przy pomocy sprężonego powietrza (*spray coating*),
- zanurzeniowo (*dip coating*),
- selektywnie z wykorzystaniem programowalnych dozowników (*select coating*),
- z użyciem dyszy igłowej (*needle dispensing*).

Nakładanie za pomocą pędzla, natryskiem lub zamiennie może być wykonywane ręcznie, chociaż każda z tych metod ma swoje wady i zalety. Metoda nanoszenia z użyciem pędzla nie pozwala np. na jednoczesne pokrycie lakierem obydwu stron obwodu, co umożliwiła metoda zanurzeniowa. Ta z kolei nie pozwala na pokrywanie selektywne, które pozostawia część elementów bez pokrycia. Metoda natryskowa powoduje znaczne straty lakieru, co praktycznie nie występuje w metodzie zanurzeniowej. Za najdoskonalsze uchodzą metody selektywne wykorzystujące tzw. kurtynę natryskową. Lakier podawany przez dyszę dozownika tworzy bardzo cienką kurtynę o regulowanej szerokości. Dysza przemieszczając się nad obwodem powoduje nakładanie lakieru w sposób ciągły i równomierny, a zmieniająca się w trakcie ruchu szerokość kurtyny powoduje, że jest on nakładany selektywnie tzn. z pominięciem określonych obszarów. Wadą tej metody jest konieczność stosowania bardzo zaawansowanych technicznie, ale i bardzo drogich urządzeń [6].

Wśród powłok konforemnych można wyróżnić kilka grup w zależności od rodzaju rozpuszczalnika użytego w procesie utwardzania [2]. Pierwszą grupę stanowią lakiery szybkoschnące, szybko utwardzalne, na bazie rozpuszczalnika organicznego (*solvent-based*). Główną wadą tej grupy pokryć jest emisja lotnych związków organicznych podczas procesu utwardzania. Do drugiej grupy zaliczyć można lakiery bezzapachowe, niepalne, na bazie rozpuszczalnika wodnego (*water-based*) o dłuższym czasie utwardzania niż powłoki na bazie rozpuszczalnika organicznego. Trzecią grupę obejmują bezrozpuszczalnikowe (*solvent less silicones, 100% solids*)



silikony składające się w 100% z fazy stałej zapewniającej doskonałą odporność na wysokie temperatury, aczkolwiek drogie i o dużej lepkości. Czwarta grupa, to bezrozpuszczalnikowe lakiery wymagające promieniowania UV w procesie utwardzania (*solvent less UV curable*) zapewniające doskonałą odporność na wysokie temperatury czy czynniki chemiczne.

Ważną cechą lakierów jest możliwość ewentualnej naprawy zabezpieczonych nimi układów metodą lutowania poprzez warstwę [3]. Producenci zalecają co prawda wcześniejsze usunięcie warstwy zabezpieczającej np. za pomocą piaskowania, lecz dopuszczają również miejscowy, termiczny „rozkład” warstwy zabezpieczającej pod wpływem rozgrzanego grotu lutownicy, z tym że niezbędne jest późniejsze dokładne oczyszczenie lutowanego obszaru. Powstające w wysokiej temperaturze związki węgla mogą powodować późniejsze występowanie „zimnych lutów”, niezbędne jest więc ponowne zabezpieczenie naprawianego miejsca tym samym lakierem.

Niewielkie ilości cząstek stałych, będące pozostałościami procesu wytwarzania nie mają istotnego wpływu na jakość zabezpieczenia. Głównym problemem są pozostałości topników, ich obecność na zabezpieczanej powierzchni może powodować pogorszenie adhezji lakieru do podłoża, korozję, zmniejszenie odporności na wilgoć oraz powstawanie pęcherzy. Producenci dopuszczają co prawda ich występowanie w niewielkiej ilości, ale ostateczną ocenę pozostawiają do rozstrzygnięcia producentowi układów. Wykonanie profesjonalnej operacji technologicznej mycia układów, przy wykorzystaniu roztworów alkoholowych z użyciem płuczek ultradźwiękowych, zapewnia wykonanie idealnej powłoki konforemnej [6].

## 2. WYBRANE LAKIERY

Obecnie wiele firm oferuje różnorodne typy lakierów. Dużym dostawcą w tej dziedzinie jest niemiecka firma Peters, produkująca m.in. lakiery SL1306AQ (na bazie wodnej) i SL1306N (na bazie rozpuszczalników organicznych). Innym znanym producentem jest amerykańska firma Dow-Corning specjalizująca się w sprzedaży lakierów silikonowych np. 1-2577 RTV low- VOC. Najważniejsze właściwości wybranych, dostępnych na rynku lakierów zestawiono w Tab. 2.

**Tabela 2.** Podstawowe parametry wybranych rodzajów lakierów stosowanych do wytwarzania powłok konforemnych.**Table 2.** Basic parameters of chosen conformal coating.

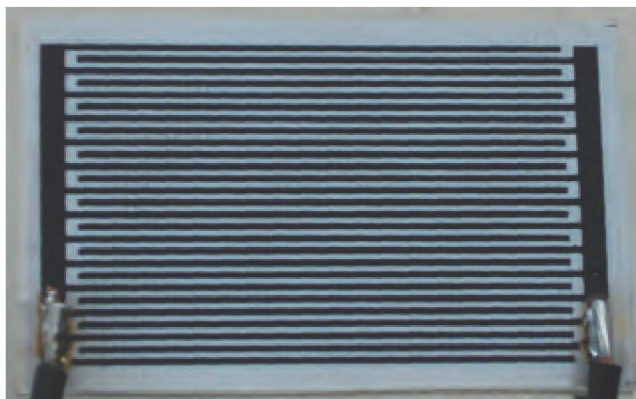
Symbol	Rodzaj polimeru	Wytrzymałość elektr. [kV/mm]	Rezyst. powierzchni [Ohm]	Grubość warstwy [ $\mu\text{m}$ ]	Czas utwardzania	Sposób nanoszenia
SL1305AQ	poliuretan	86	$1 \times 10^{13}$	$30 \div 130$	15 min-brak kleistości, 70 h-pelne utwardzenie	zanurzenie, nanoszenie pędzlem, rozpylanie, nanoszenie selektywne
SL1306N	akryl	65	$2 \times 10^{14}$	$30 \div 130$	90 min-brak kleistości, 96 h-pelne utwardzenie	zanurzenie, nanoszenie pędzlem, rozpylanie, nanoszenie selektywne
1-2577RTV low-VOC	silikon	13.4	$1.9 \times 10^{14}$	$100 \div 200$	30 min-brak kleistości, 72 h-pelne utwardzenie	zanurzenie, nanoszenie pędzlem, rozpylanie, nanoszenie selektywne

Badania własne polegające na zabezpieczeniu obwodów testowych wykonanych metodą sitodruku powłokami konforemnymi naniesionymi różnymi metodami pozwoliły na lepsze poznanie właściwości tych produktów. Do testów laboratoryjnych użyto obwodów PCB (*Printed Circuit Board*) o wymiarach 30 x 50 mm. Próbki wykonane zostały klasyczną metodą trawienia obwodów drukowanych na podłożu papierowo-szklanym o grubości 1,5 mm. Zarówno szerokość ścieżki przewodzącej, jak i szerokość przerwy pomiędzy ścieżkami wynosiły 0,5 mm każda (Rys. 1).

Próbki, pokryte lakierami SL1305AQ oraz SL1306N poddane zostały utwardzaniu w temperaturze pokojowej. Szczególnie korzystnie zaprezentował się tutaj lakier SL1305AQ, który został utwardzony do stanu kleistości już po ~ 15 minutach, a całkowicie po 30 minutach. Ze względu na zastosowanie wodnego rozpuszczalnika, utwardzaniu nie towarzyszyły żadne zapachy. Natomiast lakier SL1306N (zaliczany do grupy lakierów na bazie rozpuszczalnika organicznego) utwardził się do stanu braku kleistości dopiero po kilku godzinach.

W przypadku powłoki silikonowej 1-2577RTV, efekt procesu utwardzania był zbliżony do efektu otrzymanego dla lakieru SL1306N. Jednakże, ponieważ lakier ten

jest produktem typu „low VOC” (nie zawierający rozpuszczalników lub zawierający je w bardzo niewielkim stężeniu) jego użyteczność wydaje się być lepsza, zwłaszcza jeżeli brać pod uwagę brak negatywnego wpływu na środowisko.



**Rys. 1.** Wygląd obwodu testowego.

**Fig. 1.** Test circuit appearance.

Równocześnie stwierdzono, że nawet niewielkie i krótkotrwałe podgrzanie próbek radykalnie przyspiesza proces utwardzania wszystkich lakierów.

Następny etap badań dostarczył informacji o jakości zabezpieczeń. Stwierdzono, iż obwody zabezpieczone były w sposób jednolity i ciągly, o szklistej powierzchni. Niemniej na krawędziach obwodów zabezpieczonych metodą zanurzeniową, zaobserwowano tendencję do występowania zgrubień.

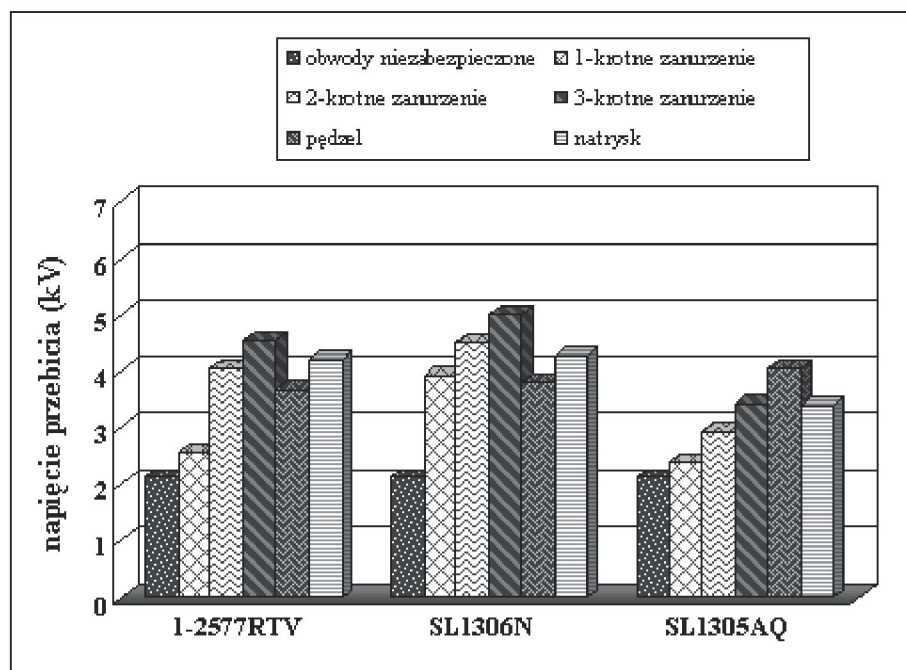
Grubość warstw zabezpieczających uzyskanych po zastosowaniu metody zanurzeniowej, odpowiednio dla lakierów SL1305AQ i 1-2577RTV wynosiła 10  $\mu\text{m}$  oraz 20  $\mu\text{m}$ , co pozostaje w istotnej rozbieżności z deklaracjami producenta. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że metoda nanoszenia ma zasadniczy wpływ na grubość otrzymanej warstwy, zaś producenci nie podają wskazówek na temat sposobu nanoszenia warstw. Natomiast w przypadku lakieru SL1306N wynosiła ona 40  $\mu\text{m}$ , która to wartość mieści się w przedziale danych katalogowych.

### **3. WPLYW WYBRANYCH LAKIERÓW NA PARAMETRY ELEKTRYCZNE OBWODÓW**

W celu lepszego opisania badanych powłok konforemnych, zmierzono wybrane parametry elektryczne obwodów testowych zabezpieczonych danymi lakierami. Napięcie przebicia i rezystancję izolacji wyznaczono przy użyciu miernika QuadTech

Sentry 35AC/DC/IR Hipot Tester, a pojemność elektryczną za pomocą mostka RLC QuadTech 7600.

Wartości napięcia przebicia po zabezpieczeniu obwodów powłokami konformnymi uległy znacznemu podwyższeniu. Najlepszy okazał się lakier SL1306N, dzięki któremu wartość napięcia przebicia wzrosła co najmniej o 80% - po pokryciu obwodów z użyciem pędzla oraz aż o 135% w przypadku 3-krotnego zanurzenia. Relatywnie najgorzej wypadł lakier SL1305AQ, aczkolwiek wartość napięcia przebicia w najgorszym przypadku, przy zastosowaniu metody 1-krotnego naniesienia, wzrosła o 12%. Dodatkowo wykazano, że dla lakierów SL1306N i 1-2577RTV, metoda zanurzeniowa polegająca na naniesieniu dwukrotnej warstwy zwiększa napięcia przebicia w równym stopniu co metoda natryskowa. Najlepszą jakość zabezpieczenia (najwyższą wartość napięcia przebicia) dla obu wyżej wymienionych lakierów uzyskano po zastosowaniu 3-krotnego naniesienia (Rys. 2)

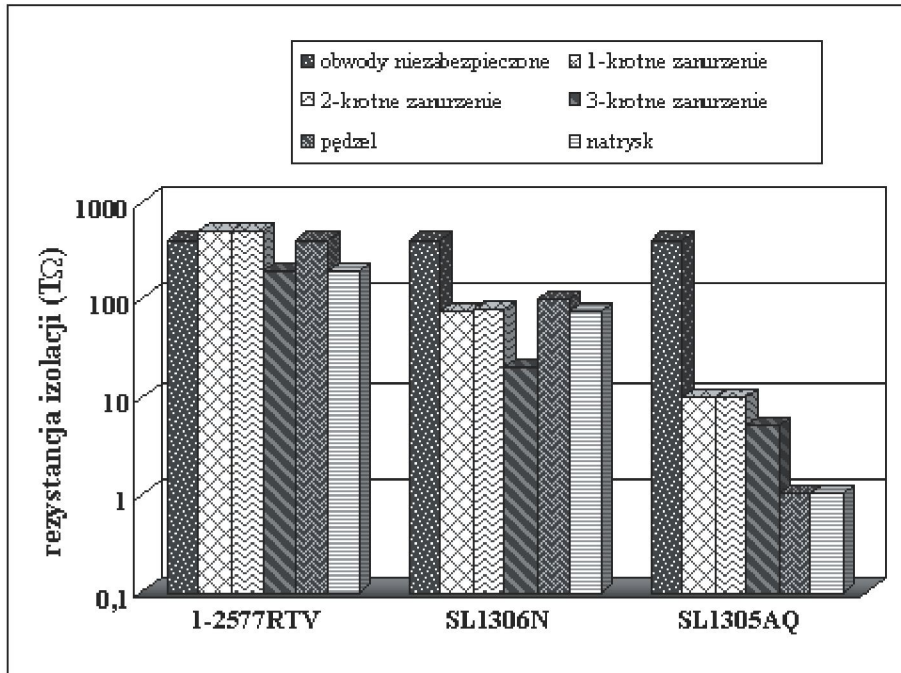


Rys. 2. Porównanie wartości napięcia przebicia dla obwodów pokrytych wybranymi lakierami z zastosowaniem różnych metod nanoszenia.

Fig. 2. Comparison of breakdown voltage values versus type of conformal coatings and different type of application method.



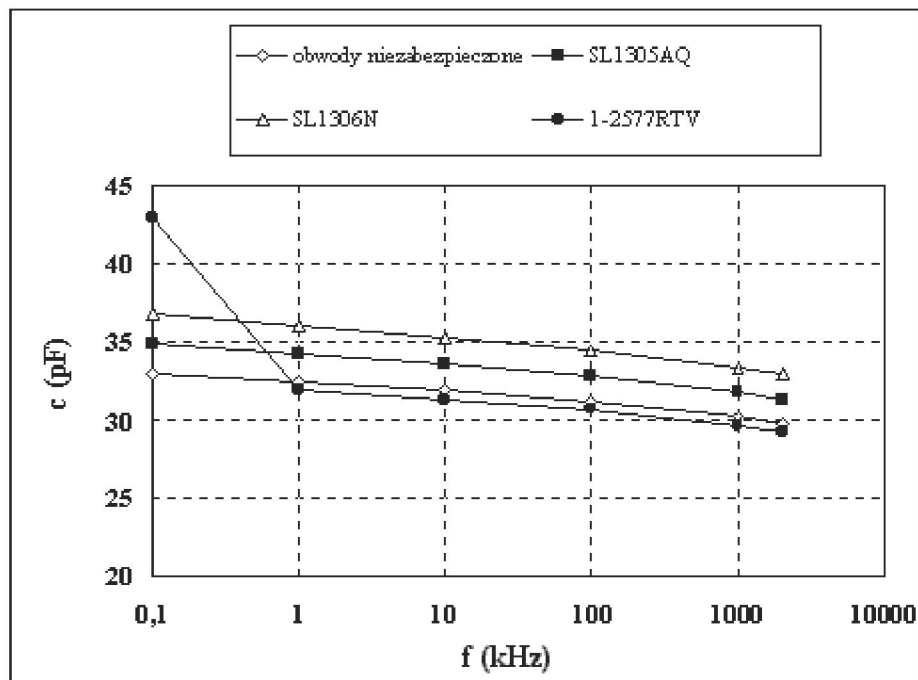
Wartość rezystancji izolacji uległa nieznacznym zmianom po zastosowaniu powłoki 1-2577RTV i dość znacznym (rzędu kilkuset TΩ) w przypadku powłoki SL1305AQ (Rys. 3). Należy jednak podkreślić, podane przez producentów normatywne wartości parametru rezystancji powierzchniowej tych lakierów różnią się o rząd wielkości (Tab. 1).



**Rys. 3.** Porównanie rezystancji izolacji dla obwodów pokrytych wybranymi lakierami z zastosowaniem różnych metod nanoszenia.

**Fig. 3.** Comparison of insulation resistance values versus type of conformal coatings and different type of application method.

Stwierdzono również, że testowane powłoki konforemne podwyższają pojemność elektryczną od kilku do kilkudziesięciu procent (największy wzrost o 34% w przypadku zastosowania powłoki 1-2577RTV dla częstotliwości 0,1 kHz) (Rys. 4.). Jest to spowodowane zmianą rodzaju dielektryka. Dodatkowy wpływ na zmiany pojemności obwodów testowych może mieć ograniczenie dostępu wilgoci do układów przez powłoki konforemne. Wraz ze wzrostem częstotliwości wartość tego parametru uległa nieznacznemu zmniejszeniu w przypadku każdej zastosowanej powłoki konforemnej.



Rys. 4. Zmiany pojemności obwodów wraz ze wzrostem częstotliwości pokrytych różnymi rodzajami lakierów zabezpieczających.

Fig. 4. Changes of the circuit capacitance versus frequency after protection by different type of conformal coatings.

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone rozeznanie literaturowe oraz uzyskane rezultaty badań własnych wybranych powłok konforemnych prowadzą do następujących wniosków:

- 1) Powłoki konforemne stanowią atrakcyjną, zarówno pod względem technologicznym jak i cenowym, alternatywę dla klasycznej technologii hermetyzacji układów elektronicznych za pomocą różnego rodzaju zalew.
- 2) Wykonane badania wykazały, iż powłoki konforemne w pewnym stopniu wpływają na parametry zabezpieczanych układów elektronicznych. Stopień ich wpływu jest zależny od rodzaju użytego lakieru, a także od metody jego nakładania. Generalnie wszystkie opisane lakiery istotnie podwyższają napięcie przebicia od 12% do 135%, przy czym najlepsze rezultaty uzyskano dla lakierów SL1306N (135%) i 1-2577RTV (115%) przy użyciu metody 3-krotnego zanurzenia i nieco gorsze dla tych samych lakierów z wykorzystaniem metody natryskowej (odpowiednio 100% i 97%).

- 3) Wartości rezystancji izolacji tylko w nieznacznym stopniu uległy zmianie po zastosowaniu powłok konforemnych za wyjątkiem przypadku użycia lakieru SL1305AQ, gdzie wielkość zmiany była na poziomie kilkuset teraohmów. Zastosowanie powłok konforemnych również w nieznacznym sposób wpłynęło na pojemność elektryczną obwodów testowych (zmiana na poziomie kilku procent) za wyjątkiem silikonu 1-2577RTV, gdzie zmiana ta dla częstotliwość 0,1 kHz wynosiła 34%.
- 4) Przy doborze optymalnej powłoki należy wziąć pod uwagę, oprócz jej parametrów elektrycznych, również takie czynniki jak: bezwonność, zdolność do szybkiego utwardzania w możliwie niskiej temperaturze, wydajność na jednostkę powierzchni, możliwość automatyzacji procesu zabezpieczania oraz cenę (lakier silikonowy jest blisko trzykrotnie droższy niż lakier poliuretanowy).

## 5. LITERATURA

- [1] Suppa M., Kollasa M.: Thick film coatings materials and fast conformal coating processes – a contradiction?, [www.peters.de](http://www.peters.de)
- [2] Materiały seminaryjne, Seminarium AMTEST „Powłoki Konforemne”, 28 listopad 2006, Wrocław
- [3] Zhang K., Pecht M.: Effectiveness of conformal coatings on a PBGA subjected to unbiased high humidity, high temperature tests, *Microelectronics International* 17/3, 2000, 16-20
- [4] Conformal Coatings Tutorial – Dow Corning – materiały informacyjne, [www.dowcorning.com/content](http://www.dowcorning.com/content)
- [5] Selective conformal coating system - Asymtec - materiały informacyjne [www.asymtec.com](http://www.asymtec.com)
- [6] Heuser P.: Conformal coatings for electronics – fields of application, requirement profiles, processing, [www.peters.de](http://www.peters.de)
- [7] „Frequently asked questions about conformal coating” [www.kc-produkte.com](http://www.kc-produkte.com)
- [8] Robins M.: Conformal coatings: to protect and serve, *Electronic Packaging & Production* (1999) 16-22

## SUMMARY

### COMPARATIVE STUDY OF CONFORMAL COATINGS

The conformal coating technology of protecting the surface of electronic assemblies from harsh environment has been developing recently as a result of increasing automation of electronic production.

A. Skwarek, K. Witek

The conformal coating is a thin protective layer of 25 - 50  $\mu\text{m}$  thickness which can provide resistance to several stresses including abrasion, shock, temperature, ozone, mould, humidity and ultraviolet degradation etc. The physical and chemical compositions of various coatings offer different degrees of protection.

The characteristic feature of this type of protection is a possibility of circuit surface conformal mapping.

In this article some practical information, as well as the results of own investigations of different type of conformal coatings are presented.