

Nakładanie fotorezystów metodą wypływu ze zbiornika

Opisano nowy sposób nakładania fotorezystów na płaskie podłoża. Płyty pokrywa się fotorezystem wypływającym ze zbiornika z malejącą szybkością. Rezultatem takiej zmiany szybkości opuszczania poziomu fotorezystu jest wysoka równomierność nałożonej warstwy. Zmianę szybkości osiąga się dzięki wyprofilowaniu ścianki lub ścianek zbiornika odpowiednio do wyprowadzonej zależności. Metoda ta może znaleźć szerokie zastosowanie zarówno w praktyce laboratoryjnej jak i produkcyjnej.

WPROWADZENIE

Technika trawienia kształtowego, stosowana od wielu lat do wytwarzania precyzyjnych detali, aby mogła być konkurencyjna do innych metod wytwarzania np.: elektroformowania, techniki laserowej, metod mechanicznych, a jednocześnie często jedynie możliwa do zastosowania, musi być modyfikowana, a sam proces podlegać ciągłej optymalizacji. Wszystkie tego typu działania sprowadzają się z reguły do poprawy parametrów trawienia i wpływu na sam proces technologiczny, ale nie zapewniają warunków do uzyskania równomierności trawienia [1]. W ITME szereg lat temu podjęto prace nad poprawą równomierności procesu trawienia, głównie poprzez zbadanie mechanizmów nakładania warstw i opracowanie metod nanoszenia równomiernych warstw fotorezystów [2], [3].

Stosowana bardzo często w praktyce metoda kontrolowanego wyciągania jest stosunkowo prosta i polega na zanurzeniu płyt w emulsji światłoczułej i wyciąganiu ich z określoną szybkością zależną od wymaganej grubości warstwy. Sposób ten jest bardzo przydatny przy pokrywaniu dwustronnym, ale nie umożliwia uzyskiwania warstw o jednakowej grubości powłoki na całej powierzchni pokrywanej płyty. Naniesiona warstwa ma znaczną klinowatość w kierunku wyciągania, a jej występowanie jest zazwyczaj przyczyną szeregu trudności technologicznych w trakcie wykonywania poszczególnych operacji określonych procesem technologicznym. Dlatego też, w celu wyeliminowania klinowatości warstwy nałożonej metodą kontrolowanego wyciągania, zalecane jest [4], [5], [6] podwójne pokrywanie, które

następuje po obrocie płyty o 180°. Uzyskany w ten sposób ponowny klinowaty rozkład grubości warstwy powinien wyrównywać nierównomierności emulsji przy pokrywaniu jednokrotnym. W naszych badaniach [7] okazało się, że zastosowanie podwójnego pokrywania nie likwiduje różnic w grubości fotorezystu na płycie, tylko częściowo je zmniejsza z jednoczesną zmianą funkcji rozkładu grubości.

Znane urządzenia do nakładania warstw (pneumatyczne, hydrauliczne, mechaniczne) metodą wyciągania, oparte są na założeniu, że wyciąganie (pokrywanie fotorezystem) odbywa się ruchem jednostajnym ($V = \text{const}$) i może być w sposób ciągły lub skokowy zmieniane w zależności od wymaganej grubości warstwy emulsji. Urządzenia te nie zapewniają więc zmian szybkości wyciągania w trakcie nanoszenia emulsji, gdyż każdorazowe pokrycie odbywa się przy raz ustawionej stałej szybkości wyciągania. Wydaje się, że wyrównywanie grubości może nastąpić poprzez zmniejszanie szybkości wyciągania w trakcie procesu nakładania warstwy, a zmiana ta powinna przebiegać według pewnej określonej funkcji, której charakter i zależności nie są dotychczas znane.

Niniejsza praca jest próbą znalezienia odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób (choć przybliżony) zmiana ta powinna być prowadzona, aby można było prostą metodą nakładać stosunkowo równomierne warstwy fotorezystu, bez konieczności budowy skomplikowanych i drogich urządzeń.

OKREŚLENIE ZMIAN SZYBKOŚCI POKRYWANIA PŁYT

Problem określenia warunków, w jakich powinno przebiegać pokrywanie płyt fotorezystem w celu ograniczenia zjawiska klinowatości, sprowadza się do uzależnienia grubości emulsji na płycie od stałych parametrów, czyli niezmiennych dla danego pokrywania i nie mających wpływu na wielkość klinowatości.

Zbliżony efekt jak w przypadku metody "dip-coating" uzyskamy, jeżeli unieruchomimy płytę, a powierzchnia emulsji będzie opuszczać się ze stałą szybkością równą szybkości wyciągania płyty, realizowaną przez opuszczanie zbiornika lub wypływ fotorezystu. Uzyskana dla tych warunków zależność na grubość D nałożonej warstwy w funkcji położenia x na płycie daje się przedstawić następująco [2]:

$$D = a/\mu V / \varrho \text{ gL}^{1/2} x^{1/2} \quad (1)$$

Z powyższego wzoru wynika, że jedyną wielkością zmienną mającą wpływ na równomierność warstwy jest położenie x na płycie. Dlatego też należy określić takie warunki nakładania warstwy, w których parametr x nie będzie wywierał żadnego wpływu, oczywiście bez wprowadzania dodatkowych wielkości zmiennych.

Przyjęcie oznaczenia $t_p = L/V$ we wzorze (1) umożliwi określenie czasu t_p pokrywania płyty emulsją:

$$t_p = \mu x / \varrho \text{ gD}^2 \quad (2)$$

Z drugiej strony czas pokrywania płyty fotorezystem powinien równać się czasowi t_0 opróżniania zbiornika, czyli czasowi odpowiadającemu spadkowi poziomu fotorezystu o wielkość równą długości pokrywanej płyty. Aby określić czas t_0 należy przeprowadzić

następujące rozumowanie: jeżeli w zbiorniku o powierzchni przekroju poziomego A w różniczkowym czasie dt obniży się poziom emulsji o $-dH$ (znak minus, gdyż wskutek wypływu emulsji następuje zmniejszanie się wysokości emulsji w zbiorniku), to objętość fotorezystu, jaka wypłynie wyniesie $-AdH$. Tę samą objętość emulsji można wyrazić jako iloczyn szybkości objętościowej przez czas wypływu tzn. $Q_V dt$. Można więc napisać:

$$-AdH = Q_V dt \quad (3)$$

Wykorzystując znaną zależność na objętościowe natężenie wypływu Q_V tj.:

$$Q_V = \varphi A_0 \sqrt{2gH}$$

otrzymamy po scałkowaniu ogólne wyrażenie na czas opróżniania zbiornika:

$$t_0 = 1/\varphi A_0 \sqrt{2g} \int_0^H /A/H//\sqrt{H}/dH \quad (4)$$

Ponieważ chwilowa wysokość H emulsji w zbiorniku daje się przedstawić wyrażeniem $H-x$, więc zależność (4) przyjmie postać:

$$t_0 = 1/\varphi A_0 \sqrt{2g} \int_x^0 /A/x/\sqrt{H-x}/dx \quad (5)$$

Po przyjęciu założenia równości $t_p = t_0$ tzn. czas pokrywania równa się czasowi opróżniania zbiornika, otrzymamy następujące wyrażenie, które po uproszczeniu będzie miało postać:

$$x = \rho g D^2 / \sqrt{2a}^2 \varphi \mu A_0 \int_x^0 /A/x/\sqrt{H-x}/dx \quad (6)$$

W związku z tym problem sprowadza się do znalezienia takiej funkcji $A(x)$ (zmiana przekroju zbiornika na jego długości), aby wyrażenie podcałkowe (w granicach całkowania $x-0$) równało się x , a tym samym parametr "położenie" ulegnie likwidacji.

Przyjmując, że pole przekroju zbiornika na długości x będzie zmieniało się zgodnie z równaniem:

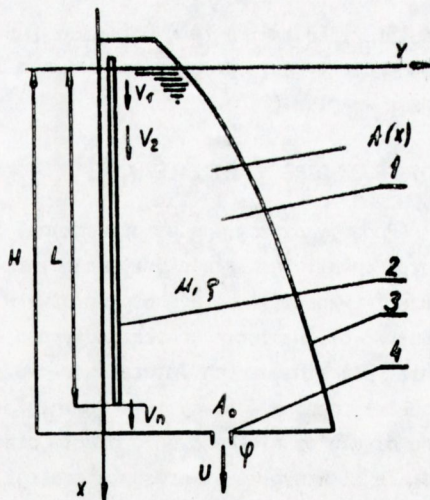
$$A(x) = kb \sqrt{H-x} \quad (7)$$

zależność na grubość warstwy będzie następująca:

$$D = a \sqrt[4]{2/g} \sqrt{\varphi \mu A_0 / \rho kb} \quad (8)$$

czyli $D = f(\varphi, \rho, \mu, g, a, b, k, A_0) = \text{const}$, a tym samym zależność będzie jedynie od stałych parametrów mających wpływ na bezwzględną grubość warstwy, a nie na klinowatość.

W związku z tym wyeliminowanie (ograniczenie) klinowatości nakładanej warstwy sprowadzałyby się do nanoszenia fotorezystu na podłoża nieruchome przy jednoczesnym wypływie



Rys. 1. Nakładanie fotorezystu na płytę metodą wypływu ze zbiornika

1 - fotorezyst, 2 - płytę pokrywana, 3 - zbiornik, 4 - otwór wylotowy;
 $V_1 > V_2 > \dots > V_n$

fotorezystu takim, że chwilowa szybkość opuszczania się poziomu emulsji jest w każdym momencie trwania procesu zmienna i malejąca zgodnie ze zmianą przekroju zbiornika opisaną równaniem (7).

DYSKUSJA OTRZYMANEJ ZALEŻNOŚCI

Podany powyżej sposób prowadzenia procesu nakładania fotorezystu jest jednak obciążony pewnymi nieścisłościami, mającymi wpływ na rozkład grubości warstwy. Podczas wyprowadzania wzoru (1) na grubość warstwy w funkcji położenia na płycie, nie uwzględniono wpływu sił napięcia powierzchniowego w modelu matematycznym opisującym zjawisko pokrywania. Dla stosowanych fotorezystów wpływ ten jest niewielki, a rozważania na ten temat zostały podane w pracy [8]. Pominęto również wpływ warstewki granicznej pozostającej na płycie po nieskończeniu długim czasie ściekania fotorezystu oraz warunków utwardzania emulsji. W wyniku utwardzania emulsji następuje równocześnie zmniejszanie się jej grubości wskutek odparowania rozpuszczalnika, zależne od temperatury i czasu suszenia [3]. Wpływ warstewki granicznej i warunków utwardzania na rzeczywistą grubość warstwy został podany w postaci następującej zależności liniowej [2]:

$$D^x = wD + c \quad (9)$$

a współczynnikiem nadano określony sens fizyczny, tj.

w - współczynnik związany ze zmianą grubości warstwy podczas procesu utwardzania,

c - współczynnik po nieskończeniu długim czasie ściekania emulsji

Wykorzystanie podanego równania empirycznego w naszym przypadku nie jest konieczne, jedynie skomplikowałoby bardzo obliczenia, tym bardziej, że wielkości w i c są zależne od rodzaju i właściwości fotorezystu i warunków jego utwardzania.

Znacznie istotniejszym przybliżeniem jest przyjęcie równości czasu pokrywania płyty t_p z czasem wypływu emulsji t_0 , gdyż w rzeczywistości po opuszczeniu się fotorezystu poniżej dolnej krawędzi płyty zachodzi w dalszym ciągu ściekanie emulsji po płycie, do czasu jej wstępnego wysuszenia.

Zależność na objętościowe natężenie wypływu Q_v oparta jest na założeniu, że pole przekroju A zbiornika w dowolnym miejscu na jego wysokości jest nieporównywalnie większe od powierzchni otworu wylotowego A_0 . Wykorzystując równanie Bernoulliego i równanie ciągłości strugi otrzymujemy wyrażenie:

$$U^2/1 - (A_0/A)^2/2 = 2gh \quad (10)$$

które odpowiada zastosowanemu wzorowi w przypadku, gdy stosunek $A_0^2/A^2 \ll 1$. Dla najmniejszego przekroju zbiornika (szerokość x długość = 2 x 20 cm²) i otworu wylotowego 2 cm², stosunek ten wynosi 0.0025, a tym samym popełniany jest niewielki błąd

Należy również pamiętać, że wykonując zbiornik dokładnie według żądanej zależności (7) powstaje problem wprowadzenia płyt do wnętrza zbiornika, gdyż w punkcie 0 schodzą się obie ścianki (rys. 2). Dlatego też należy wykonać "cięcie" zbiornika w płaszczyźnie prostopadłej do pokrywanej płyty, a więc wzdłuż osi 0'Y'. W tym przypadku poziom fotorezystu może znajdować się co najwyżej na wysokości 0'Y', a proces pokrywania powinien

przebiegać według krzywej $y = x^{-1/2}$. Chwilowa szybkość opuszczania się poziomu fotorezystu nie będzie odpowiadała wartościom założonym, a różnice te będą największe w górnej części zbiornika. Wraz ze wzrostem x (wplywem emulsji ze zbiornika) następuje zwiększanie się różnicy pomiędzy $x^{-1/2}$ i Δy , czyli gdy x rośnie to

$$\Delta y_1/x_1^{-1/2} > \Delta y_2/x_2^{-1/2} > \dots > \Delta y_n/x_n^{-1/2}$$

i dąży do zera dla nieskończenie długiego zbiornika. Tym samym największe różnice występują dla początkowych obszarów płyty, a w miarę dalszego pokrywania popełniany błąd jest już niewielki.

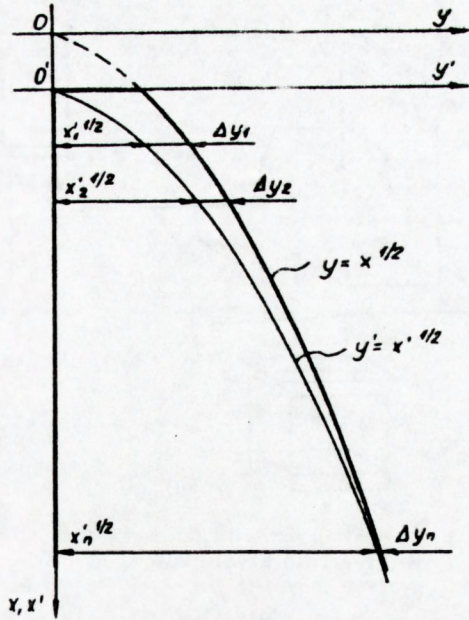
Podane powyżej przybliżenia i pewne odstępstwa od rzeczywistości w znaczny sposób przyczyniły się do prostoty obliczeń i określenia kierunku w jakim należy postępować mając na uwadze problem klinowatości. Opracowana metoda wypływu nakładania warstw umożliwia zatem zminimalizowanie zjawiska klinowatości poprzez możliwość zastosowania bardzo prostych urządzeń do nanoszenia warstw.

METODA WYPŁYWU NAKŁADANIA WARSTW

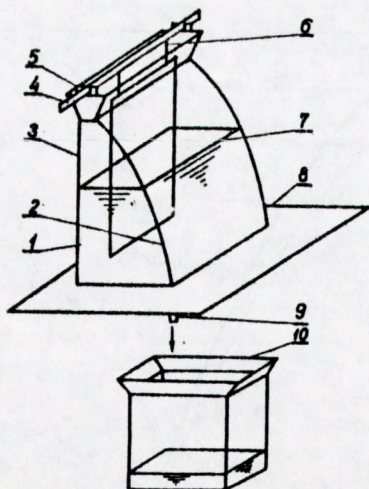
Otrzymana zależność (7) na zmianę przekroju poprzecznego zbiornika z fotorezystem, wynikiem której jest kontrolowane zmniejszanie się szybkości opuszczania poziomu emulsji w zbiorniku jest praktycznie warunkiem koniecznym i wystarczającym, aby można było uzyskiwać warstwy o zwiększonej równomierności pokrycia w porównaniu z klasyczną metodą wyciągania. W oparciu o podaną funkcję zmiany przekroju zbiornika można zbudować urządzenie do nakładania fotorezystu na podłoża (rys. 3), które w najprostszym przypadku będzie składało się ze zbiornika o jednej ścianie wyprofilowanej według funkcji $k/H-x^{-1/2}$, otworu wylotowego i uchwytów do mocowania płyt.

Należy zwrócić uwagę, że podany powyżej sposób pokrywania emulsją, a polegający na swobodnym wypływie emulsji do zbiornika zapasowego i zwracaniu jej do zbiornika właściwego po usunięciu pokrywanej płyty, jest mało wydajny w przypadku pokrywania dużej ilości płyt. W celu poprawy wydajności możliwe są różne rozwiązania konstrukcyjne, jak również mechanizacja i automatyzacja procesu. Poniżej przedstawiono jedno z możliwych rozwiązań konstrukcyjnych (rys. 4), zapewniające efektywne pokrywanie dużej ilości płyt.

Zbiorniki A i B zamocowane są na podstawach, które dzięki zastosowaniu układu napędowego 10 mogą zajmować odpowiednio dwa skrajne położenia "górze" i "dół". Zbiornik A napełnia się fotorezystem i zamocowuje płyty 3 i 4, przy czym układ zbiorników jest

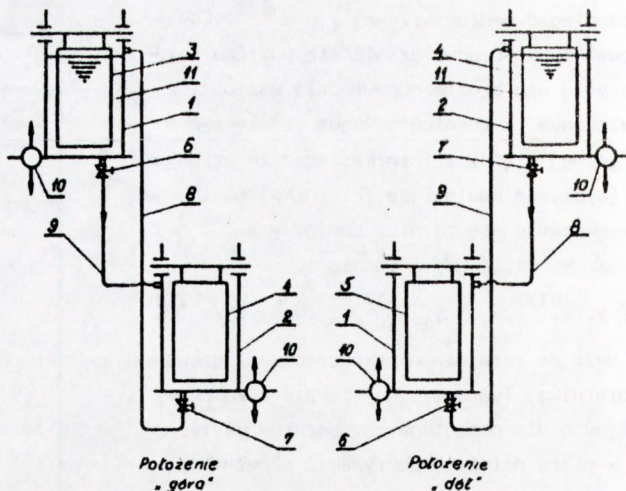


Rys. 2. Różnice pomiędzy pokrywaniem założonym, a rzeczywistym



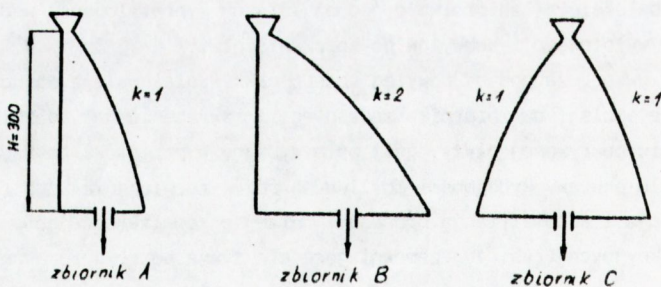
Rys. 3. Schemat urządzenia do nakładania warstwy fotorezystu metodą wypływu

1 - zbiornik właściwy, 2 - ścianka wyprofilowana według funkcji $k/H-x/1/2$, 3 - ścianka zbiornika równoległa do powierzchni pokrywanej płyty, 4 - pręt do zamocowania płyt w zbiorniku, 5 - uchwyty mocujące pręt, 6 - zamocowanie płyt do pręta, 7 - poziom fotorezystu w zbiorniku, 8 - podstawa, 9 - otwór wypływowy fotorezystu, 10 - zbiornik dodatkowy



Rys. 4. Nakładanie fotorezystu na płyty z wykorzystaniem dwóch połączonych zbiorników

1 - zbiornik A, 2 - zbiornik B, 3, 4, 5 - pokrywane płyty, 6 - zawór regulacyjny zbiornika A, 7 - zawór regulacyjny zbiornika B, 8 - przewód elastyczny wypływu ze zbiornika B (napełniania A), 9 - przewód elastyczny wypływu ze zbiornika A (napełniania B), 10 - układ napędowy podnoszenia i opuszczania zbiorników A i B, 11 - fotorezyst



Rys. 5. Zbiorniki do pokrywania fotorezystem

A - zbiornik podstawowy, B i C - zbiorniki porównawcze

w położeniu "górze". Przy zamkniętym zaworze 7 pokrętko zaworu 6 ustawia się w pozycji zależnej od wymaganej grubości warstwy (regulacja A_0). Fotorezyst wypływając ze zbiornika A przewodem 9 napełnia jednocześnie zbiornik B. Po całkowitym opróżnieniu zbiornika A (napełnieniu B) usuwa się płytę 3, zamocowuje kolejną płytę 5 i przy zamkniętych zaworach 6 i 7 cały układ doprowadza się w położenie "dół". Po otwarciu zaworu 7 następuje pokrywanie płyty 4 i jednoczesne napełnianie zbiornika A poprzez przewód 8, fotorezystem wypływającym ze zbiornika B. Podane operacje należy powtarzać aż do momentu pokrycia całej ilości płyt:

Wielkością decydującą o otrzymanej grubości pokrycia (pomijając wszelkie zmiany spowodowane parametrami fizyko-chemicznymi fotorezystu) jest zgodnie ze zmianą szybkości mV (m - stałe dla danego pokrywania) - parametr m . Wpływ na wartość m będą miały te zmienne, od których zależy zmiana szybkości V , a więc będą to współczynnik k decydujący o rozszerzeniu bądź zwężeniu zbiornika proporcjonalnym do zależności (7) i pole przekroju A_0 otworu wylotowego fotorezystu ze zbiornika. Wraz ze wzrostem k następuje zmniejszanie się V , a tym samym średnia grubość emulsji będzie maleć (przy zachowaniu stałości A_0). Jednakże regulowanie grubości pokrycia poprzez zmianę k jest bardzo kłopotliwe, gdyż każda taka zmiana pociąga za sobą konieczność budowy nowego zbiornika. Dlatego też, w celu regulowania grubości warstwy, należy zmieniać powierzchnię przekroju A_0 wypływu fotorezystu ze zbiornika. Sposób ten nie powoduje żadnych trudności np. poprzez dławienie zaworem wypływu lub zastosowanie kilku równoległych otworów wypływowych.

W celu sprawdzenia, w jakim stopniu możliwe jest wyeliminowanie zjawiska klinowości poprzez zastosowanie metody wypływu, wykonano trzy różne zbiorniki (rys. 5) do nakładania fotorezystu. Zbiorniki powyższe, z uwagi na konieczność wyprofilowania co najmniej jednej z powierzchni bocznych, wykonano z winiduru (materiał podatny na odkształcenia). Zmiany czasu pokrywania (grubości nakładanej warstwy) realizowano przez dławienie wypływu na jednym otworze, otwarciu dwóch lub trzech otworów wypływowych.

Płyty pokrywano fotorezystem kazeinowym o gęstości $1.043-1.045 \text{ g/cm}^3$ i lepkości 20-25 cP. Wybór emulsji kazeinowej do badań spowodowany był jej niskim kosztem, materiałem z jakiego wykonano zbiorniki i koniecznością stosowania jednorazowo dużych porcji emulsji.

Fotorezyst nakładano na płyty ze stali kwasoodpornej o grubości 0.125 mm, wysokości 300 mm, szerokości 150 mm i chropowatości $R_a = 0.12 \mu\text{m}$. Każdą płytę przed pokryciem fotorezystemem bardzo dokładnie oczyszczano i odtłuszczano zgodnie z technologią stosowaną przy pokrywaniu emulsją kazeinową.

Po przygotowaniu powierzchni płyty pokrywano na stanowisku zestawionym zgodnie z rys. 3.

Grubość nałożonej warstwy mierzono metodą β -odbiciową, przy użyciu Betascopu "TC-2000" ze źródłem radioaktywnym Pm-147. Grubość emulsji dla poszczególnych punktów płyty (w kierunku pokrywania) jest średnią arytmetyczną z siedmiu niezależnych pomiarów, licząc po szerokości płyty (stałość grubości w kierunku prostopadłym do wypływu).

Ocenę równomierności warstwy prowadzono w oparciu o wyznaczenie średniej grubości pokrycia \bar{D} jako średniej całkowitej:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \Delta L_i}{L} \quad (11)$$

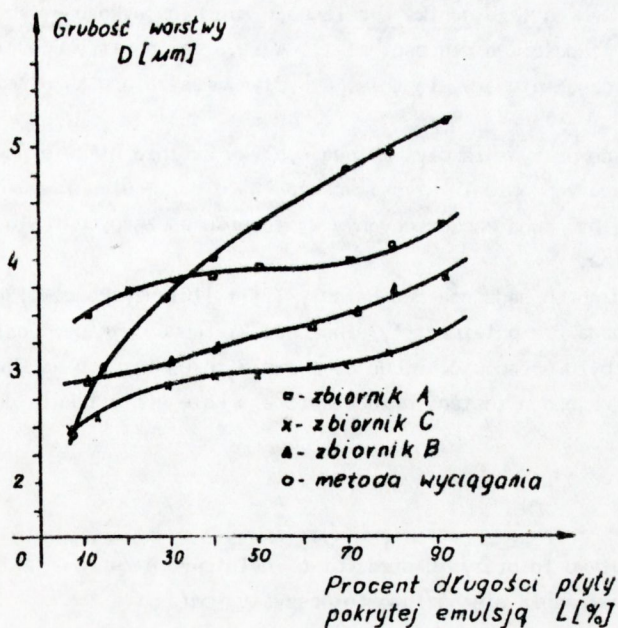
gdź wielkość ta uwzględnia charakter zmian grubości fotorezystu na płycie, tzn. uzależnia grubość średnią od grubości składowych i ich położenia. Obliczona w ten sposób średnia grubość posłużyła do przedstawienia odchyień procentowych grubości od warstwy średniej \bar{D} w funkcji położenia na płycie.

OMÓWIENIE WYNIKÓW I PODSUMOWANIE

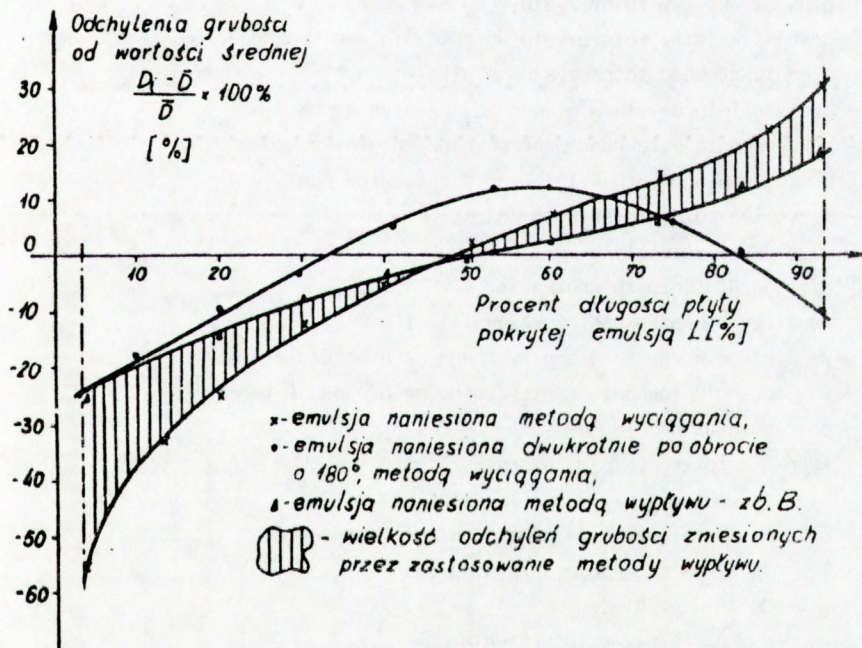
W wyniku analizy funkcji rozkładu grubości fotorezystu na powierzchni płyty uzyskanej metodą wypływu stwierdza się, że metoda ta eliminuje w dużym stopniu klinowatość warstwy w porównaniu z metodą zanurzeniową - wyciągania ze stałą szybkością (rys. 6). Rozkład grubości warstwy na długości płyty uzyskany dla zbiornika o jednej ścianie wyprofilowanej (zbiornik A), zbiornika o krzywiznie dwukrotnie większej (zbiornik B) i zbiornika o dwóch symetrycznych krzywiznach (zbiornik C), jest bardzo zbliżony. Potwierdza to wstępne założenia teoretyczne, że uzyskiwany efekt równomierności nie zależy od ilości wyprofilowanych ścianek i stopnia krzywizny, jeżeli tylko zmniejszanie się szybkości opuszczania poziomu fotorezystu odbywa się zgodnie z założoną funkcją $k/H-x/1/2$. Zmiany w kształcie zbiornika są przyczyną jedynie różnic w grubości nakładanych warstw, oczywiście przy zachowaniu stałości przekroju otworu wylotowego emulsji.

Na rys. 7 przedstawiono porównanie metod wyciągania, dwukrotnego wyciągania z obrotem płyty o 180° i wypływu, dla grubości z przedziału najczęściej stosowanego w procesach chemigraficznych, tj. 3-5 μm . Wykorzystane wyniki rozkładu grubości fotorezystu (podane w postaci odchyień procentowych grubości od wartości średniej) dla klasycznej metody wyciągania i dwukrotnego wyciągania, otrzymano na podstawie naszych badań opisanych w pracy [7]. Obliczenie wielkości odchyień procentowych grubości zniesionych przez zastosowanie metody wypływu i dwukrotnego wyciągania wykonano metodą całkowania graficznego. Okazało się, że zastosowanie metody wypływu usuwa 49% nierównomierności warstwy uzyskanej metodą jednokrotnego wyciągania, natomiast wyciąganie z obrotem o 180° znosi 47% odchyień od wartości średniej. Z przedstawionych danych wynika, że jeśli chodzi o stopień usunięcia nierównomierności warstwy, to metody wypływu i podwójnego pokrywania są porównywalne, jednakże ze względów praktycznych podwójne wyciąganie nie zawsze może być zastosowane z dobrym skutkiem. Przyczyną pewnych trudności i ograniczeń w stosowaniu tej metody jest kłopotliwa dalsza obróbka chemigraficzna, gdyż występuje możliwość spłynięcia powłoki podczas wywoływania (niedostateczne wysuszenie pierwszej warstwy lub niewłaściwy dobór optymalnego czasu naświetlania warunkującego fotoutwardzenie kopiowanego wzoru), a także brak możliwości nakładania cienkich warstw (nałożona warstwa jest zawsze sumą dwóch warstw składowych).

Wymagany kształt zbiornika, o jednej lub dwóch wyprofilowanych ściankach, może stwarzać pewne kłopoty podczas jego wykonywania, a tym samym nie zawsze zmiana przekroju zbiornika będzie odpowiadała wartościom założonym. Dlatego też, w celu uproszczenia wykonania zbiornika do nakładania fotorezystu, ściankę wyprofilowaną zastąpiono ścianką



Rys. 6. Rozkład grubości warstwy fotorezystu na długości płyty - porównanie metody wypływu i wyciągania



Rys. 7. Porównanie nakładania fotorezystu metodami: wyciągania (dip-coating), dwukrotnego wyciągania z obrotem o 180° i wypływu

płaską o nachyleniu 30° . Porównanie rezultatów nakładania warstwy za pomocą zbiorników o ściankach wyprofilowanych i zbiornika o ściankach płaskich wykazuje, że występują różnice w rozkładzie grubości na długości płyty. W rezultacie otrzymuje się wynik pośredni pomiędzy klasyczną metodą wyciągania, a wpływem ze zbiornika o ściankach wyprofilowanych.

Zaproponowany sposób pokrywania płyt metodą wpływu ze zbiorników o powierzchniach odpowiednio ukształtowanych pozwala uzyskiwać warstwy o dużym stopniu równomierności, a tym samym staje się na pewno konkurencyjnym w stosunku do znanych i stosowanych metod nanoszenia fotorezystów.

Efektom przeprowadzonych badań są dwa patenty [9] i [10] uzyskane w 1988 roku.

Wykonane prace badawcze potwierdziły słuszność kierunku, w którym należy postępować dalej, aby można było opracować metodę nakładania równomiernych warstw. Wyniki przewidywanych dalszych badań zostaną przedstawione w kolejnym artykule dotyczącym tej tematyki.

STOSOWANE OZNACZENIA

- U - szybkość wpływu fotorezystu przez otwór wylotowy, cm/s
- V - szybkość opuszczania się poziomu fotorezystu, cm/s
- Q_v - objętościowe natężenie wpływu fotorezystu, cm^3/s
- a - współczynnik charakterystyczny dla danego rodzaju emulsji
- b - szerokość zbiornika, cm
- k - współczynnik przekroju zbiornika
- D - grubość warstwy fotorezystu, cm
- D^x - grubość warstwy fotorezystu wg równania empirycznego, cm
- \bar{D} - średnia grubość fotorezystu na płycie, cm
- D_i - grubość fotorezystu w miejscu L_i na płycie, cm
- A - powierzchnia przekroju poprzecznego zbiornika, cm^2
- A_0 - powierzchnia otworu wylotowego w zbiorniku, cm^2
- g - przyspieszenie ziemskie, cm/s^2
- t_p - czas pokrywania płyty, s
- t_0 - czas opróżniania zbiornika, s
- m - współczynnik szybkości pokrywania
- w - współczynnik równania empirycznego na grubość fotorezystu
- c - współczynnik równania empirycznego na grubość fotorezystu
- x - położenie na płycie, cm
- H - wysokość fotorezystu w zbiorniku, cm
- L - długość pokrycia płyty fotorezystem, cm
- ΔL_i - odległość pomiędzy kolejnymi punktami pomiarowymi, cm
- μ - lepkość dynamiczna fotorezystu, g/cms
- ρ - gęstość fotorezystu, g/cm^3
- φ - współczynnik wpływu fotorezystu

BIBLIOGRAFIA

1. Cendrowski S., Najdeker E.: Metoda trawienia obrysowego w zastosowaniu do wytwarzania precyzyjnych detali, *Materiały Elektroniczne*, 1991, 4 (76)
2. Cendrowski S., Blinkow W., Mrówczyński J.: Sposób obliczania grubości warstwy emulsji światłoczułej naniesionej na płyty metodą wyciągania, *Materiały Elektroniczne* 1980, 1 (29), 31-39
3. Blinkow W., Cendrowski S., Mrówczyński J., Klimczyk T.: Wpływ warunków termicznego utwardzania na wytrzymałość chemiczną warstwy emulsji światłoczułej, *Materiały Elektroniczne* 1982, 2 (38), 7-16
4. Ławriszczew W.P.: Wwiedzenie w fotolitografię, Moskwa: 1977 Energia
5. Shipley Europe, AZ Positive Photo Resist, Informacja firmowa, London 1981
6. Agfa-Gevaert, Copyrex RN-30, Copyrex RA-50, Informacja firmowa, Antwerpia 1981
7. Blinkow W., Cendrowski S., Mrówczyński J., Szadkowski K.: Badanie rozkładu grubości emulsji światłoczułych naniesionych na płyty metodą kontrolowanego wyciągania, *Materiały Elektroniczne* 1982, 2 (38), 17-27
8. Groenveld P.: Thickness distribution in dip-coating, *Journal of Paint Technology* 1981, 561 (43), 50-53
9. Patent Polska nr 139111, 1988
10. Patent Polska nr 141592, 1988