

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Цієї інформації достатньо для програми контролю відмінностей на двох ділянках волокна. Програма визначає відмінності між ОВ і БВ ділянками.

Для поліпшення сполучних характеристик і враховуючи технологічні особливості виготовлення компонентів розроблено нові методи контролю геометричних параметрів різних ділянок волокон що з'єднуються, які забезпечать можливість вільного доступу інструменту в робочу зону [9]. В даний час втрати в з'єднанні можна знизити до 0,03 дБ.

IV. ВИСНОВКИ

Було обґрунтовано доцільність використання методу підвищення ефективності вводу випромінювання потужних джерел в оптичні волокна в умовах дії інтенсивних впливів навколишнього середовища. Запропонована технічна реалізація вдосконаленого технологічного процесу робить можливим використання оптоелектронних ліній передачі інформації в складних умовах.

Визначення точності розташування сполучної площини в пристроях узгодження з похибкою близько одного мікрметра підвищує ефективність вводу випромінювання до 20 дБ. Це, в свою чергу, дасть змогу зберегти працездатність волоконно-оптичної системи, з довжиною і рівнем впливу навколишнього середовища, прийнятними для військового, наукового та космічного призначення. Наприклад, якщо розглянути систему, в якій відношення потужності, що генерується передавачем, до мінімально допустимої потужності на вході приймача становить 50 дБ, то навіть при згасанні на 100 дБ/км, до якого приведе доза іонізуючого випромінювання в 1000 рад, дозволить забезпечити роботу лінії з довжиною близько кілометра.

- [1] О.К. Склярів *Волоконно-оптические сети и системы связи*. Солон-пресс, 2010.
- [2] Янг М. *Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы*. Мир, 2005.
- [3] А.Б. Иванов *Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения*. Сайрус системс, 1999.
- [4] Стерлинг Д. Дж. (мл.) *Волоконная оптика. Техническое руководство*. Лори, 2001.
- [5] H. Yoda, T. Endo, and K. Shiraishi "Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism," in *J. Lightw. Technol.*, vol. 20, no. 8, 2002, pp. 1545–1548.
- [6] Филипенко А. И., Малик Б. А., Селенкова Н. П. и Гончар В.В.: "Контроль геометрических параметров каскадных оптоволоконных структур" *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, №3/5(57), 2012, с.28–31.
- [7] Спосіб виготовлення узгоджуючої секції оптичних волокон: Патент України № UA 115811 U, опубл. 25.04.2017, бюл. № 8 / Малик Б.О., Малик – Загорій С.Б.
- [8] Malyk, V. O., Tokarieva, O. V., & Malyk-Zamorii, S. B. (2018). Optical fiber structures performance enhancement under the conditions of ionizing radiation high power levels. *Problems of Atomic Science and Technology*, 114(2), 13-18.
- [9] Патент України №122687 Спосіб виготовлення узгоджуючої секції оптичних волокон, 2018.

Оптимізація режимів нанесення фоторезисту

Віктор Письменецький, Олександр Профатіло, Владислав Райков

Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки. 14, email: vladyslav.raikov@nure.ua

Анотація: В даному матеріалі було проведено двофакторний дисперсійний аналіз нанесення фоторезисту та дослідження його властивостей.

Ключові слова: фоторезист, оптимізація, дисперсійний аналіз.

I. ВСТУП

Завдання оптимізації зводиться до знаходження таких умов проведення технологічного процесу, при

яких критерій оптимізації (вихідний параметр) досягає екстремуму. Функцію $y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$, зв'язує критерій оптимізації з вхідними параметрами, прийнято називати функцією відгуку, а геометричне зображення функції відгуку в факторному просторі - поверхнею відгуку.

При пошуку екстремальної точки, на відміну від аналітичного дослідження, здійснюється локальне вивчення поверхні відгуку за результатами

експериментів. Рух до екстремуму в багатовимірному просторі незалежних змінних здійснюється зазвичай дискретно. Проаналізувавши результати експериментів і порівнюючи їх з попереднім, приймає рішення про подальші дії з пошуку оптимуму. Екстремальне значення відгуку досягається багаторазовим послідовним дослідженням поверхні відгуку і просування в факторному просторі. Існує кілька експериментальних методів оптимізації [1], а саме:

- метод Гаусса-Зейделя;
- метод випадкового пошуку;
- метод градієнтного пошуку;
- метод Кіфера –Вольфовіца;
- метод крутого сходження

II. ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Розглянемо нанесення шару фоторезисту методом центрифугування. При цьому рідкий фоторезист розтікається під дією відцентрових сил. Прилеглий до підкладки граничний шар формується за рахунок врівноваження відцентрової сили, пропорційної числу обертів, та сили опору, що залежить від когезії молекул фоторезисту.

Було проведено двофакторний дисперсійний аналіз, який використовується для оцінки параметрів регресійної моделі формування шару фоторезисту фотолітографії тонких плівок. При отриманні рисунка ІМС визначальними операціями є нанесення рівномірно без дефектного шару заданої товщини. Основними технологічними факторами операції центрифугування є: в'язкість фоторезисту, доза фоторезисту, швидкість обертання центрифуги, час виходу на режим, час

центрифугування, температура і вологість навколишнього середовища.

Товщина шару фоторезисту вимірювалася після термозадублювання, інтерференційним мікроскопом МП – 4. Після отримання даних був проведений двофакторний дисперсійний аналіз.

Алгоритм виконання двофакторного дисперсійного аналізу зображено на рисунку 1.

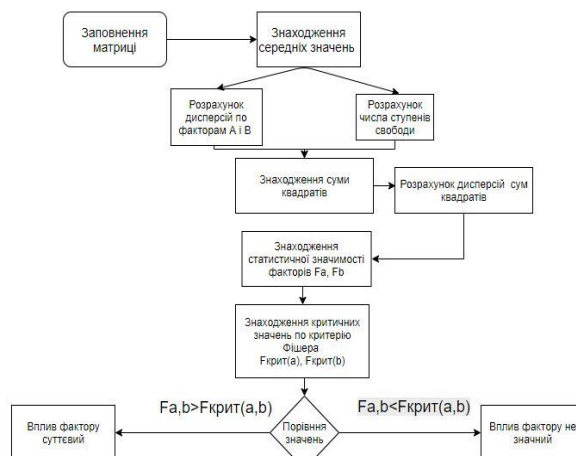


Рис 1. Алгоритм дисперсійного аналізу

Алгоритм виконання двофакторного дисперсійного аналізу:

- а) заповнення матриці дослідів (табл. 1);

Таблиця 1. Матриця дослідів

В'язкість	Швидкість центрифуги									
	1000 об/хв, МКМ	1500 об/хв, МКМ	2000 об/хв, МКМ	2500 об/хв, МКМ	3000 об/хв, МКМ	3500 об/хв, МКМ	4000 об/хв, МКМ	4500 об/хв, МКМ	5000 об/хв, МКМ	
0.054 см ² /с	3,5	2,9	2,57	2,3	2,15	2,1	2,05	2	1,95	
0.048 см ² /с	3,0	2,55	2,25	2,1	1,9	1,8	1,7	1,65	1,6	
0.038 см ² /с	2,4	2,1	1,7	1,6	1,53	1,48	1,43	1,4	1,38	
0.029 см ² /с	2,0	1,7	1,46	1,35	1,29	1,15	1,1	1,05	1,03	
0.021 см ² /с	1,25	1,1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,58	

- б) розрахунок середніх значень А, В, та загальне середнє по формулам (1) - (3).

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = \frac{LC}{|\Delta x|^2} \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + \frac{L}{|\Delta x|^2} R \frac{\partial i}{\partial t}$$

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^q x_{ij}}{q}, i=1, 2, \dots, p. \quad (1)$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{x}_{ij}}{p}, j=1, 2, \dots, q \quad (2)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{x}_i}{p} = \frac{\sum_{j=1}^q x_j}{q} \quad (3)$$

- в) розрахунок дисперсії признака x по факторам А та В за формулами (4),(5).

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^q (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{m_2}, i=1, 2, \dots, p \quad (4)$$

$$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^q (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m_j} \quad j=1, 2, \dots, q. \quad (5)$$

г) розрахунок числа степенів свободи за формулами (6) - (9):

$$m_1 = p - 1; \quad (6)$$

$$m_2 = q - 1; \quad (7)$$

$$m = pq - 1; \quad (8)$$

$$m_0 = (p - 1)(q - 1). \quad (9)$$

г) знаходження суми, що характеризують вплив факторів на ознаку х, та загальна сума квадратів за формулами (10) - (13);

$$S_a = q \sum_{i=1}^p (\bar{x}_i - \bar{x})^2; \quad (10)$$

$$S_b = p \sum_{j=1}^q (\bar{x}_j - \bar{x})^2; \quad (11)$$

$$S_o = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q x_{ij}^2 - n \times \bar{x}^2 \quad (12)$$

$$S = S_a + S_b + S_o. \quad (13)$$

д) розрахунок дисперсій за формулою (14),(15)

$$S_a^2 = \frac{S_a}{p-1}; S_b^2 = \frac{S_b}{q-1}; \quad (14)$$

$$S_o^2 = \frac{S_o}{(p-1)(q-1)}; S^2 = \frac{S}{n-1}. \quad (15)$$

е) знаходження статистичної значимості впливу факторів на ознаку х за формулою (16).

$$F_a = \frac{S_a^2}{S_o^2}; F_b = \frac{S_b^2}{S_o^2}; \quad (16)$$

є) порівняння F_a та F_b з критичними значеннями $F_{крит}$ по критерію Фішера. Якщо $F > F_{крит}$ то вплив фактора суттєвий, якщо навпаки то вплив фактору не суттєвий.

Після отримання даних було проведено двофакторний дисперсійний аналіз в Microsoft Excel, результати зображено на рисунку 2.

Двофакторний дисперсійний аналіз без повторень						
ИТОГИ	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
0,054 см ² /с	9	21,52	2,39111	0,266961111		
0,048 см ² /с	9	18,55	2,06111	0,220486111		
0,038 см ² /с	9	15,02	1,66889	0,124236111		
0,029 см ² /с	9	12,13	1,34778	0,106944444		
0,021 см ² /с	9	7,33	0,81444	0,053002778		
1000 об/хв	5	12,15	2,43	0,762		
1500 об/хв	5	10,35	2,07	0,4995		
2000 об/хв	5	8,88	1,776	0,43203		
2500 об/хв	5	8,15	1,63	0,3595		
3000 об/хв	5	7,62	1,524	0,29678		
3500 об/хв	5	7,23	1,446	0,29958		
4000 об/хв	5	6,93	1,386	0,29123		
4500 об/хв	5	6,7	1,34	0,29175		
5000 об/хв	5	6,54	1,308	0,27747		
Дисперсионный анализ						
Источники вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Строки	13,57095556	4	3,39274	231,781841	3,88125E-23	2,668436943
Столбцы	5,70464	8	0,71308	48,71550702	9,37045E-16	2,244396139
Погрешность	0,468404444	32	0,01464			

Рис 2. Двофакторний дисперсійний аналіз

З отриманих результатів визначаємо вплив фактора в'язкості, $231,78 > 2,66$. Це порівняння підтверджує вплив фактору в'язкості на товщину сформованої плівки фоторезисту.

На рисунку 3 зображено залежність товщини плівки фоторезисту в залежності від швидкості обертання центрифуги та різної в'язкості фоторезисту.

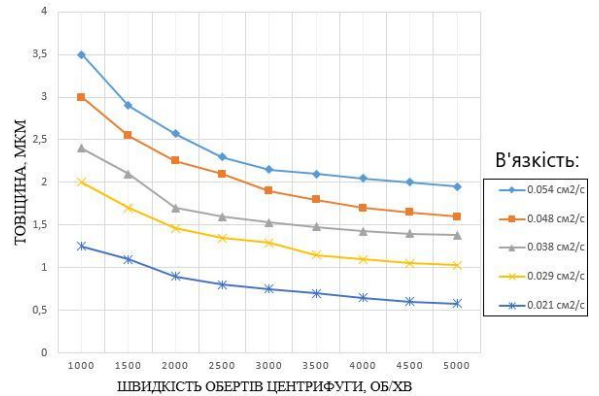


Рис 3. Товщина плівки при різних факторів впливу

Крім того згідно з формулою (17) проаналізовано вплив факторів А (в'язкість) та В (швидкість обертів центрифуги).

$$h = \frac{k \times p^2}{\sqrt{W}} \quad (17)$$

де k – константа центрифуги;

p – вміст сухих компонентів фоторезистів пропорційній в'язкості (A);

W – частота обертання ротора центрифуги (фактор В).

Таким чином робимо висновок що в'язкість впливає сильніше ніж число обертів центрифуги

Крім того згідно з формулою (18) [2], можна зробити висновок, що в'язкість або вміст сухих компонентів фоторезисту впливають сильніше, ніж кількість обертів центрифуги w.

$$h = \frac{k \times A^2}{\sqrt{B}} \quad (18)$$

Формула (19)[2] запропонована в роботі теж характеризує більш вагомий вплив в'язкості ніж число обертів w.

$$h = k \times \sqrt{\frac{v}{w}}, \quad (19)$$

Це потребує подальших досліджень та урахування наступних факторів: типу резисту і його в'язкості; максимальної швидкості обертання – прискорення центрифуги; температури й вологості навколишнього середовища; властивостей поверхні підкладки.

Зміна товщини плівки в залежності від вологості навколишнього середовища показано на рисунку 4.

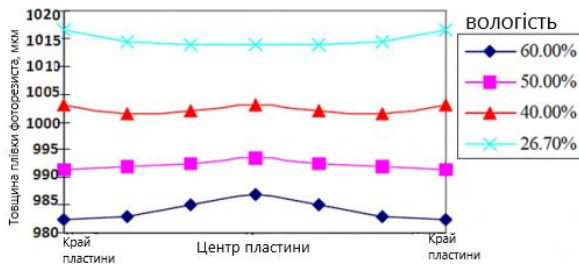


Рис 4. Залежність товщини плівки від вологості

При зміні температури фоторезисту змінюється товщина плівки резисту та збільшується розкид товщини плівки центру пластини від краю. Тобто при збільшенні температури фоторезисту SPR955-СМ-0,7 на 1°C його різниця в товщині центру пластини щодо краю може скласти від 2 нм до 10 нм, що призведе до розкиду лінійних розмірів елементів топології. Це зображено на рисунку 5.

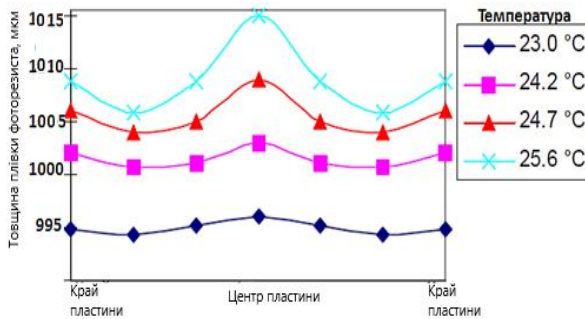


Рис 5. Залежність товщини плівки від температури

При збільшенні температури проявника значно збільшується і швидкість прояви фоторезисту. Тому керуючи температурою проявника можна управляти швидкістю прояви фоторезисту,

оптимізуючи цим технологічний процес. Для стабілізації параметрів фоторезисту і проявника, а також оптимізації технологічного процесу з проектними нормами 0,25 мкм – 0,35 мкм, необхідно мати програмовані блоки термостабілізації з вбудованим нагрівачем, мікропроцесорним пристроєм та датчиками температури [3].

III. ВИСНОВКИ

У міру зростання складності вирішуваних завдань збільшується й вартість застосовуваного фотолітографічного обладнання. акцент в розвитку все більше зміщується в бік програмного забезпечення та моделювання. Найбільш розповсюдженими пакетами програм є VirtualStepper, PROLITH або SOLID-C в яких вдається визначити та оптимізувати параметри фотолітографічного обладнання до етапу експонування пластини та змодельовати тривимірне зображення елементів в фоторезисті на різних стадіях обробки фотолітографії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1]. Основи виробництва електронних апаратів [Текст]: Підручник / І.Ш. Невлюдов, м. Харків, 2005. – 185с.
- [2]. Технология производства интегральных микросхем [Текст]/ В.Н. Черняев, А.А. Васенкова, г. Москва, 1986. – 165с.
- [3]. Обзор Методов Оптимизации Процессов Фотолитографии [Электронный ресурс]./ Режим доступа: [www/URL:https://sibac.info/studconf/science/i/555](http://www.URL:https://sibac.info/studconf/science/i/555)

Исследование процесса формирования микросоединений методом ультразвуковой сварки при изготовлении ГПП

Юрий Александров¹, Николай Стародубцев¹, Шахин Омаров¹

1. Кафедра КИТАМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, пр. Науки. 14, УКРАИНА, e-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua

Аннотация: В данной работе рассматривается процесс формирования микросоединений методом сварки ультразвуком при изготовлении гибких печатных плат, проанализировано влияние технологических факторов и конструктивных параметров на механизм образования сварного соединения.

Ключевые слова: микросоединение, ультразвук, показатель качества, полиимид, сварка.

I. ВВЕДЕНИЕ

Гибкие печатные платы (ГПП) – в условиях микроминиатюризации изделий современной электронной техники обеспечивают ряд преимуществ при создании электросоединений в приборах как стационарных, так и подвижных конструкций. Устойчивость к перегибам