

## РАЗРАБОТКА ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОГО И КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Воскобойникова О.Б., Ершов И.А.  
Научный руководитель: Стукач О.В.  
Томский политехнический университет  
[zaragik@yandex.ru](mailto:zaragik@yandex.ru)

### Введение

Производство полупроводниковой продукции - сложный технологический процесс, состоящий из большого количества операций, таких как механическая и химическая обработка, пассивация, маркировка и т.д. В современном мире каждое предприятие стремится к большей производительности, обеспечению конкурентоспособности как на внутреннем, так и на внешнем рынке, к востребованности выпускаемой продукции и, впоследствии, получению наибольшей прибыли. Этого невозможно достигнуть без управления качеством на всех стадиях жизненного цикла продукции. Но на качество продукции и выход годных изделий влияет множество причин, из-за чего процент выхода годных изделий неизбежно падает. Своевременное отслеживание отклонений показателей качества на разных стадиях способствует снижению затрат производства, повышению выхода годных изделий, а также увеличению общей эффективности.

Решение задачи по управлению качеством можно разделить на два направления. Первое – это непрерывное улучшение производства и второе – это создание некоторой эталонной модели, с которой сравниваются характеристики реального процесса. В данной статье рассматривается вопрос о создании такой эталонной модели.

Были взяты статистические данные с производства интегральных схем. Технологический маршрут состоит примерно из 250 операций, в базе данных это независимые переменные. На рисунке 1 приведен фрагмент базы, в которой первая переменная – процент выхода годных чипов, а последующие величины – это технологические параметры и результаты измерений.

Для выявления переменных, в наибольшей степени влияющих на процент выхода годных изделий, проводится корреляционный анализ и рассчитываются коэффициенты корреляции.

На рис. 2 приведены результаты корреляционного анализа. Расчеты выполнены в программе Statistica 8.0 [2]. Видно, что данный метод не позволяет выявить множество значимых переменных в связи с тем, что коэффициенты корреляции близки по значению и есть много ложных корреляций.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	% выхода годных	Глубина травления мкм	Сопротивление	Ёмкость ВУФ	Контроль внешнего вида	Ток сток-исток	Напряжение затвор-исток	Спад сигнала	Ёмкость конденсаторов	Сопротивление резисторов	Контроль внешнего вида
1	66	0,144	11,4	17	1,5	26	19	2	0	1,3	10,6
2	37	0,135	12	16	1,5	26	21	0	0	1,3	10,8
3	38	0,135	12	24	1,5	26	21	0	0	1,3	10,4
4	38	0,144	12	24	1,5	26	21	0	0	1,3	10,9
5	45	0,135	12	24	1,5	26	21	0	0	1,3	11,0
6	41	0,145	12	18	1,5	26	21	0	0	1,3	11,0
7	23	0,135	13,4	19	1,5	26	21	0	0	1	11,2
8	45	0,143	13,3	17	1,5	26	21	0	0	1	12,4
9	41	0,135	14	17	1,5	26	21	0	0	1	11,7
10	52	0,135	14	18	1,5	26	21	0	0	1	11,2
11	25	0,135	13,5	25	1,5	26	21	0	0	1	10,6
12	16	0,145	15,5	29	1,5	26	21	0	0	1,4	9,7
13	14	0,135	14,5	24	1,5	26	21	0	0	1,4	9,5
14	29	0,149	15,5	28	1,5	26	21	0	-0,06	1,38	10,7
15	6	0,148	16	28	1,7	26	21	0	-0,063	1,35	9,8
16	19	0,142	16	25	1,5	19	21	0	-0,058	1,43	10,0
17	46	0,142	15,5	25	1,5	26	21	0	0	1,42	9,6
18	23	0,135	15,3	25	1,5	26	21	0	-0,06	1,5	9,6
19	5	0,15	14,1	24	1,68	26	20	0	-0,075	1,51	10,0
20	53	0,143	15,5	28	1,5	26	21	0	0	1,4	9,9
21	62	0,151	13,4	15	1,5	26	21	0	0	1,7	11,0
22	61	0,144	14	25	1,5	26	21	0	0	1,7	10,9
23	53	0,156	13,1	24	1,5	26	21	0	0	1,65	9,7

Рис. 1 Фрагмент данных

Variable	%
Сопротивление	-0.43
Ёмкость ВУФ	-0.42
Ток сток-исток	0.23
Напряжение затвор-исток	-0.15
Спад сигнала	0.35
Ёмкость конденсаторов	0.63
Сопротивление резисторов	0.16
Контроль внешнего вида	-0.41
Ток сток-исток	-0.30
VBD, V конденсатор	-0.21
Ток после пассивации	0.19
Толщина пластины	0.06
Начальные потери	-0.65
Паразитная модуляция	-0.76

Рис.2. Корреляционная матрица

Обычно для выявления множеств переменных, значимо влияющих на зависимую переменную, проводится факторный анализ. Факторный анализ позволяет отслеживать стабильность корреляционных связей между отдельными параметрами. Именно корреляционные связи между параметрами, а также между параметрами и общими факторами содержат основную диагностическую информацию о процессах. Применение пакета Statistica при выполнении факторного анализа исключает необходимость использования дополнительных вычислительных средств и делает анализ наглядным.

На рис. 3 приведен график факторных нагрузок, который показывает, что после объединения переменных коррелированность компонентов между факторами весьма высока. Наиболее близки к проценту выхода годных изделий три переменных, что вместе образует главный фактор. Количество других факторов определить невозможно из-за большого разброса значений коэффициентов корреляций на плоскости.

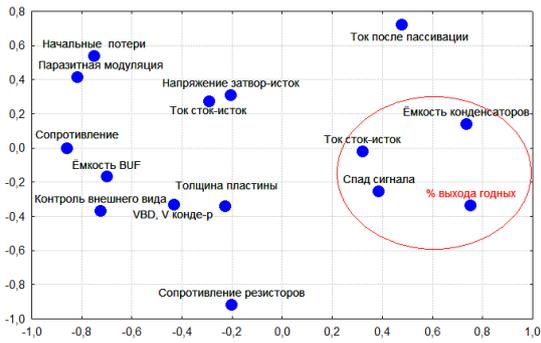


Рис.3. График факторных нагрузок

Количество общих факторов (гиперпараметров) определяется путём вычисления собственных чисел (рис. 4) матрицы факторов в модуле факторного анализа системы Statistica.

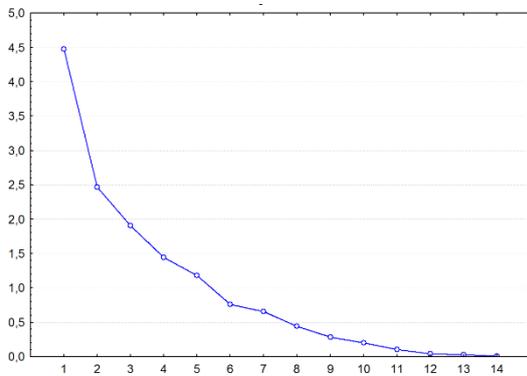


Рис.4. График собственных чисел

Из рис. 4 видно, что для полупроводникового производства факторов существенно больше двух, то есть каждая переменная или каждый технологический параметр значимо влияет на независимую переменную.

В результате применения факторного анализа удалось подтвердить гипотезу, что выявление скрытых факторов, отвечающих за линейную статистическую корреляцию не позволяет прояснить взаимосвязь между переменными в виде большого разброса значений. Применение факторного анализа позволяет определить наиболее значимые переменные, но с увеличением числа факторов существенно возрастают трудности их физической интерпретации. Проведем дополнительные исследования на определения значимых переменных методом кластерного анализа (К-средних).

#### Метод кластерного анализа

Покажем, что применение кластерного анализа данных для полупроводникового производства позволяет выявлять наиболее значимые переменные. Рассмотрим пример применения метода К-средних в программном комплексе Statistica. Целью кластерного анализа является объединение переменных в К кластеров. Для определения количества кластеров используется

построение дендрограммы, то есть древовидная кластеризация. Для исследуемых данных дендрограмма построена на рис. 5.

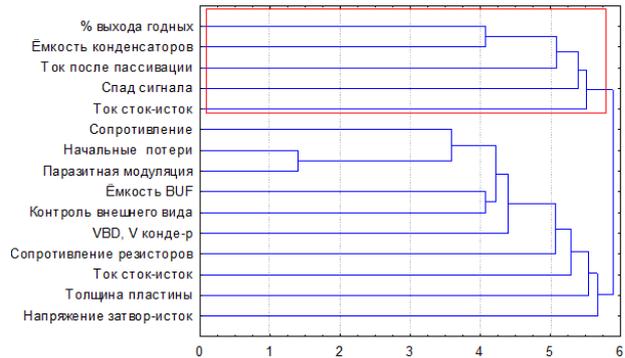


Рис.5. Дендрограмма

Из рис. 5 следует, что при пороговом расстоянии, равном 3, в один кластер с процентом годных изделий попадают все переменные, определённые в факторном анализе. Это даёт возможность провести кластеризацию методом К-средних и уточнить переменные, наиболее близкие к независимой переменной в смысле максимальной близости по расстоянию (рис. 6).

Members of Cluster Number 3 (dannye_2 - нормирование) and Distances from Respective Cluster Center Cluster contains 5 variables	
Variable	Distance
% выхода годных	0.621207
Ток сток-исток	0.815920
Спад сигнала	0.894715
Емкость конденсаторов	0.620337
Ток после пассивации	0.810765

Рис.6. Расчет расстояний в кластерном анализе

По результатам исследования можно сделать вывод о том, что сочетание методов факторного и кластерного анализа дает возможность определить переменные, значимо влияющие на процент выхода годных изделий в полупроводниковом производстве.

#### Заключение

На сегодняшний день контроль качества является одним из приоритетных направлений работы. Это связано в первую очередь с потребностью в повышении производительности производства и качества выпускаемой продукции. В данной статье рассматривается методика создания модели качества, которая будет включать в себя использование факторного и кластерного анализа для выявления наиболее значимых показателей качества продукции.

#### Литература

1. LarsMonch, JohnW. Fowler, Scott J. Mason, "Production Planning and Control for Semiconductor Wafer Fabrication Facilities". Springer, NY, P. 299. ISSN 1387-666X, DOI 10.1007/978-1-4614-4472-5.
2. Стукач О.В. Программный комплекс Statistica в решении задач управления качеством.— Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — 163 с.