

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

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.

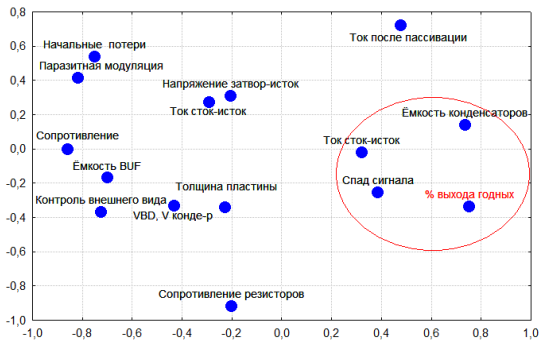


Рис.3. График факторных нагрузок

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

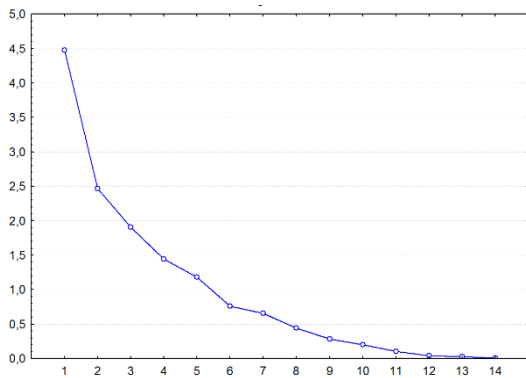


Рис.4. График собственных чисел

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.

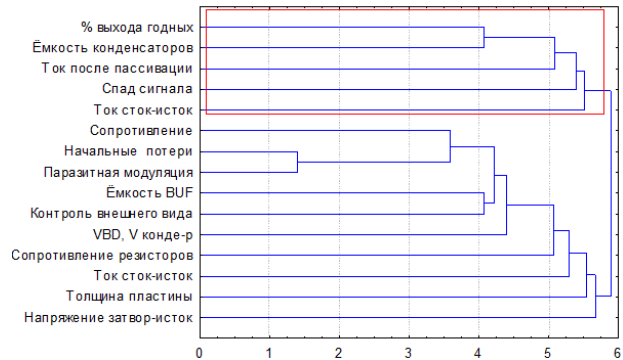


Рис.5. Дендрограмма

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 даёт 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.