

Для распознавания символов применялись нейросетевые методы [7].

При использовании разработанных технологий была достигнута вероятность правильного распознавания символов 0,99 при вероятности ошибки второго рода не более 0,005. Таким образом, разработанная информационная технология отвечает всем требованиям систем автоматизированного оптического контроля маркировочных надписей компонентов печатных узлов. Технология может быть рекомендована к применению в широком круге задач обработки и распознавания изображений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Рувинова Э. Автоматизированный оптический контроль печатных узлов // Электроника: Наука. Технология. Бизнес.— 2002.— № 6.— С. 26—32.

2. Крылов В. Н., Максимов М. В. Вторичные преобразователи сигналов изображений.— Одесса: Астропринт, 1997.

3. Крылов В. Н., Антошук С. Г. Регулярные итеративные методы оптимизации и адаптации на базе преобразования Гильберта // Мат-ли міжнар. конф. з управління "Автоматика-2001". Т. 1.— Одеса: ОНПУ, 2001.— С. 79—80.

4. Антошук С. Г., Крылов В. Н. Обработка изображений в области гиперболического вейвлет-преобразования // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы.— 2003.— № 2.— С. 7—10.

5. Антошук С. Г., Кlich Ю. А., Николенко А. А., Бабилунга О. В. Метод решения задачи оптимизации в условиях помех // Праці міжнар. конф. «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXII)».— Київ: Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова, 2005.— С. 25—26.

6. Крылов В. Н., Антошук С. Г. Методы помехоустойчивой сегментации бинаризованных изображений // Тр. Одес. политехн. ун-та.— 2004.— Вып. 1.— С. 164—167.

7. Крутлов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети.— М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2001.

К. т. н. С. Э. СЕМЁНОВА, д. т. н. Э. И. СЕМЁНОВ

Россия, Рыбинская гос. авиацион. технологич. академия им. П. А. Соловьева
E-mail: a_s_ist@list.ru

Дата поступления в редакцию
13.07 2005 г.

Оппонент В. Г. ЮРЬЕВ
(ЦКБ "Ритм", г. Черновцы)

СИСТЕМА ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ТРАВЛЕНИЯ ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Компьютерная система может быть использована для измерения скорости травления, толщины и момента окончания травления диэлектрических пленок при различных методах травления.

Определение скорости травления тонкопленочного покрытия является достаточно актуальным, т. к. позволяет получить информацию о качестве (структуре, плотности) пленок и сделать заключение о возможности их дальнейшего использования, а также определить момент окончания травления. Для решения этой задачи использована методика, применяемая для контроля скорости осаждения диэлектрических пленок [1], которая заключается в анализе фотометрического сигнала с целью извлечения из него информации о скорости травления и толщине пленки. Фотометрический сигнал изменяется по периодическому закону, близкому к косинусоидальному. Подсчет количества экстремумов позволяет получить информацию о толщине пленки, а вычисление мгновенного значения периода этого сигнала в любой момент времени — информацию о текущей скорости нанесения или травления диэлектрической пленки.

Вычисление мгновенного значения периода фотометрического сигнала осуществляется поочередным использованием методов двойного дифференцирования и временных интервалов в зависимости от участков данного сигнала. В области экстремумов использу-

ется метод двойного дифференцирования, а на участках линейного изменения отражения — метод временных интервалов. Такая комбинация методов позволяет минимизировать до допустимого уровня методическую погрешность изменения мгновенной скорости нанесения (травления) диэлектрической пленки.

В настоящем сообщении предложена разработанная компьютерная фотометрическая система, которая может быть использована для измерения скорости травления, толщины и момента окончания травления диэлектрических пленок при различных методах травления.

Для измерения скорости травления фоторезиста использовался комплекс, приведенный на рис. 1, при этом образец погружался в стеклянную кювету с раствором проявителя (гидрата окиси калия).

В качестве образца использовалась кремниевая пластина с нанесенным на нее путем центрифугирования фоторезистом ФП-9120-1, проэкспонированная ультрафиолетовым излучением.

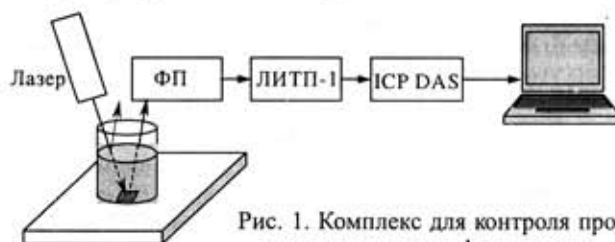


Рис. 1. Комплекс для контроля процесса травления фоторезиста

В системе использован кремниевый солнечный элемент ФКД-5, играющий роль фотоприемника (ФП). Элемент подключен к входу автоматического лазерного измерителя толщины пленок (ЛИТП) [2].

В качестве АЦП использованы модули фирмы ICP DAS серии I-7000. Каждый модуль является функционально законченным устройством, выполняемым в малогабаритном корпусе (рис. 2). На корпусе расположены разъемы и клеммные соединители для винтовой фиксации. Установка модулей не требует специальных корзин или объединительных плат и осуществляется как на стандартную несущую 35-миллиметровую DIN-рейку, так и на любую плоскую панель (стену).



Рис. 2. Модули ICP DAS серии I-7000

Все модули семейства I-7000 имеют встроенный стабилизированный преобразователь напряжения от 10 до 30 В, а также защиту от короткого замыкания и изоляцию входных и выходных сигналов, что обеспечивает им повышенную защищенность. Соединение модулей между собой осуществляется с помощью последовательного интерфейса RS-485. Модули имеют ряд преимуществ: невысокую стоимость, малые габариты и отсутствие специальных коммутационных корзин для объединения модулей.

Программа для обработки сигнала, поступающего от ICP DAS в компьютер через порт COM1, разработана в программной среде Delphi 5.0. Это позволяет организовать запуск обработчика сигнала непосредственно в среде Windows, при этом нет необходимости в установке дополнительных программ (Pascal, Delphi и др.). Частота опроса порта в диапазоне от 1 до 10 Гц задается пользователем перед началом эксперимента.

Фотоприемник ориентирован так, чтобы принимать только луч, отраженный от поверхности пластины. Отражение от поверхности проявителя не используется.

По мере растворения нанесенной пленки коэффициент отражения пленки с подложкой должен меняться по такому же периодическому закону, как и при нанесении пленки (рис. 3) [3, с. 141].

Измеряющая программа компьютерной системы может работать в двух режимах — в тестовом и основном. Тестовый режим используется при настройке и калибровке прибора для конкретных материалов, при этом на экран компьютера выводится информация только о коэффициенте отражения подложки с пленкой. Основной режим позволяет получить наглядное представление о текущих значениях коэффи-

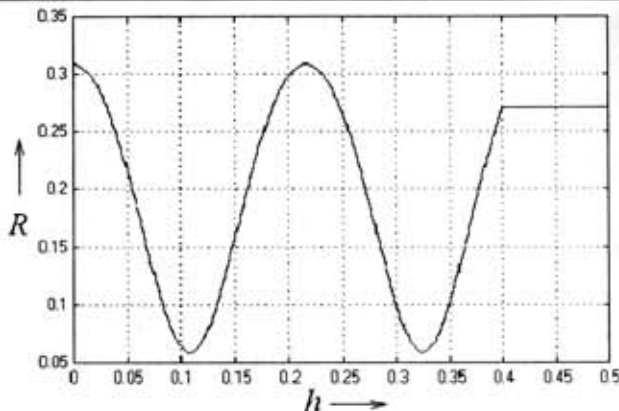


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения подложки с пленкой R от толщины пленки h

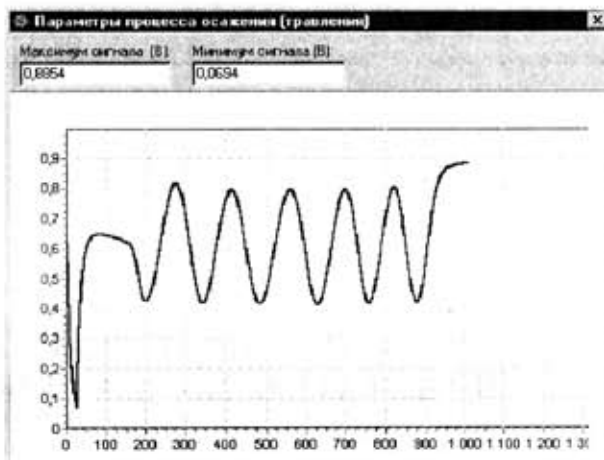


Рис. 4. Работа компьютерного фотометрического измерителя при травлении фоторезистора в тестовом режиме

циента отражения, стравливаемой толщины пленки и скорости травления.

Форма сигнала, полученного в ходе эксперимента (рис. 4), полностью соответствует ожидаемой (см. рис. 3). Первое резкое снижение сигнала фотометра (т. е. коэффициента отражения системы "подложка—пленка") соответствует моменту залива в кювету растворителя. После этого значение сигнала возрастает, и можно наблюдать первый максимум, который по форме значительно отличается от всех последующих, что, возможно, объясняется наличием на поверхности фоторезиста сильно заподимеризованного слоя. Последнее значение сигнала фотометра, близкое к 0,9 В, соответствует отражению чистой подложки. Меняя концентрацию раствора, можно изменять и скорость травления, а следовательно, увеличивать и уменьшать период сигнала фотометрического измерителя.

Из рис. 4 можно заметить, что период сигнала уменьшается, т. е. скорость травления должна возрастать. В этом можно убедиться, запустив программу измерения в основном режиме.

На рис. 5 приведен экспериментальный график, из которого видно, что при травлении фоторезиста скорость травления (толстая линия) действительно несколько возрастает, что также оказывает влияние и на вид графика толщины (тонкая линия), которая теряет четкую линейную зависимость. Средняя скорость трав-

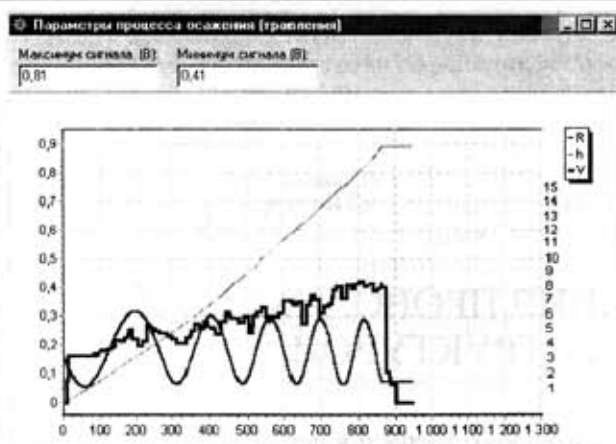


Рис. 5. Работа программного фотометрического измерителя при травлении фоторезиста в основном режиме

ления равна 0,3 по приведенной шкале, что в действительности соответствует скорости процесса 6,8 нм/с. (Чтобы видеть реальные данные на экране, необходимо откалибровать систему по шкале скоростей, подбрав коэффициент пропорциональности для скорости травления.)

Толщина травленной пленки составляет порядка 0,9 мкм. Это значение совпадает с величиной, полученной расчетным путем по методике VAMFO (наблюдение отражения под различными углами) с помощью прибора, описанного в [4]. Так как концентрация проявителя в воде очень мала (0,3%), то при этих расчетах в качестве показателя преломления среды использова-

ли значение показателя преломления воды, равное 1,333 [5, с. 104]. Показатель преломления кремниевой пластины считаем равным 3,5, показатель преломления фоторезиста, измеренный по методу Абелеса [3, с. 154—158] с помощью упомянутого выше прибора, равен 1,7.

Таким образом разработана компьютерная фотометрическая система, которая может быть использована для измерения скорости травления, толщины и момента окончания травления диэлектрических пленок при различных методах травления. Система экспериментально проверена при проявлении (травлении) фоторезиста ФП-9120-1 (ТУ 6-36-00210134-121-0—96).

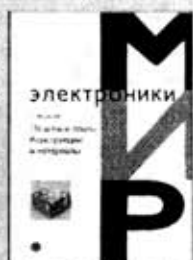
ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Семенова С. Э., Юдин В. В., Семенов Э. И. Математические методы измерения скорости осаждения диэлектрических пленок / Тонкие пленки в электронике. Тезисы XI Междунар. науч.-техн. конф. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. — С. 36.
2. Семенов Э. И. Методы контроля технологического процесса термовакuumного нанесения защитных покрытий и тонких пленок и их параметров // Контроль. Диагностика. — 1999. — № 3. — С. 17—24.
3. Физика тонких пленок. Т. 2. / Под ред. Г. Хасса и Р. Э. Туна. — М.: Мир, 1968.
4. Черняев В. Н., Обишкин Ю. Г., Семенов Э. И. Прибор для измерения показателя преломления тонких диэлектрических пленок // Оптико-механическая промышленность. — 1975. — № 12. — С. 38—40.
5. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко и А. А. Равделя. — Л.: Химия, 1972.

НОВЫЕ КНИГИ

Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы. — М.: Техносфера, 2005. — 304 с.

В книге известного российского специалиста описаны схемы процессов, технологические операции, материалы, принципы тестирования и технологического обеспечения надежности межсоединений. Она предназначена для технологов, специализирующихся в производстве печатных плат. Полезна она будет и для конструкторов, исходя из реального технологического состояния производства. Положительно скажется ее прочтение и на уровне управления производством. Преподаватели технических университетов и колледжей могут рекомендовать ее в качестве учебного пособия по курсу "Конструирование и технология производства электронной аппаратуры".



Медведев А. Технология производства печатных плат. — М.: Техносфера, 2005. — 360 с.

Монография содержит детальное изложение механических и электрохимических процессов производства печатных плат, включая бесстружечную обработку, лазерное сверление, очистку отверстий поверхностей, химическую и прямую металлизацию, финишные и контактные покрытия, а также вопросов тестирования и технологического обеспечения надежности межсоединений.

Книга предназначена для профессиональных технологов и инженеров-разработчиков и практиков.

