процессе циркуляции. Равные в начальный момент времени интервалы между импульсами в процессе хранения подвергаются различной степени деформации в зависимости от порядкового номера. Характер этих изменений определяется соотношением величин информационных и неинформационных временных интервалов, что указывает на возможность существования оптимального режима кодирования аналоговой информации. Разработанная математическая модель может использоваться при проектировании ВОЗУ для хранения аналоговой и цифровой информации.

[1] Whitaker N.A., Avramopoulos Jr.H., French P.M. // Opt. Lett. 1991. Vol.16. №23. P.1838.
[2] Heuring V.P., Jordan H.F., Pratt J.P. // Appl. Opt. 1992. Vol.31. №17. P.3213.
[3] Коростик К.Н., Кузьмин К.Г., Поляков А.В. // Инженерно-физический журнал. 1998. Т.71. №4. С.680.
[4] Безотосный В.В., Кумыков Х.Х., Марков Н.В. // Квантовая электроника. 1996. Т.23. №9. С.775.
[5] Nakwaski W. // Opt. and Quantum Electr. 1983. Vol.15. №4. P.313.

Поступила в редакцию 02.06.99.

УДК 621.315.592.2:546.28

Я.И. ТОЧИЦКИЙ, В.Е. МАТЮШКОВ, А.М. РУСЕЦКИЙ, В.А. ПИЛИПЕНКО, В.М. ПОНОМАРЬ, О.Р. ЛЮДЧИК

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БЫСТРОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ (БТО) В ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ СБИС

A modern RTP system is an automated device with a cassette-assisted loading and unloa-ding, design modifications of which are adapted for the specific thermal processing (annealing, oxidizing, etc).

При создании интегральных микросхем с субмикронными топологическими нормами все большее значение приобретает снижение тепловой нагрузки, оказываемой в этом случае на полупроводниковую пластину. Это приводит к необходимости разработки новых технологических процессов, использующих либо более низкие температуры, либо сокращение времени проведения диффузионных процессов, имеющих место при высокотемпературных обработках. Решение данного вопроса позволяет уменьшить перераспределение введенной при ионном легировании примеси, величину переходного слоя эпитаксиальная пленка – скрытый n^+-слой, глубину проникновения алюминия в кремний и практически исключить загрязнение полупроводникового материала неконтролируемыми примесями [1]. На основании приведенной классификации видов термообработки и областей ее применения показано, что одним из возможных путей реализации такого подхода является использование для нагрева световых импульсов различной длительности. При этом наиболее широкое применение при создании СБИС нашли методы обработки, использующие некогерентное световое излучение секундной длительности с использованием галогенных ламп [2, 3]. Возрастание применения процессов БТО в технологии изготовления ИС обусловило появление множества конструкций установок БТО, разработанных различными фирмами США, Японии и других стран.

Большинство установок представляют собой автономные устройства, предназначенные для выполнения конкретной технологической термической операции, связанные с другим технологическим оборудованием транспортными кассетами, например установки Heatpulse фирмы AG Associates (USA) (рис.1 [4]) и Omega 308 фирмы Moore Technologies (USA) (рис.2 [5]).

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

Менее распространенным является кластерное исполнение в составе роторных вакуумных агрегатов, например Centura фирмы Applied Materials (рис.3 [6]) и CVC s Connexion фирмы CVC Products [7], работающие из кассет, помещенных в шлюзовые вакуумные камеры.

По своему назначению установки делятся на специализированные и универсальные. Чаще производится специализированное оборудование для конкретной технологической операции, например установка для отжига после ионной имплантации – Centura Inplant Anneal или выращивания подзатворного диэлектрика – Centura RTO. Известны и конструкции универсальных установок, которые позволяют реализовать ряд технологических операций отжига, оксидирования, осаждения пленок из газовой среды и др. (установки Heatpulse 8108 фирмы AG Associates и RTP/RTCVD systems фирмы Electrische Anlagen GmbH+Co FRG) [8].

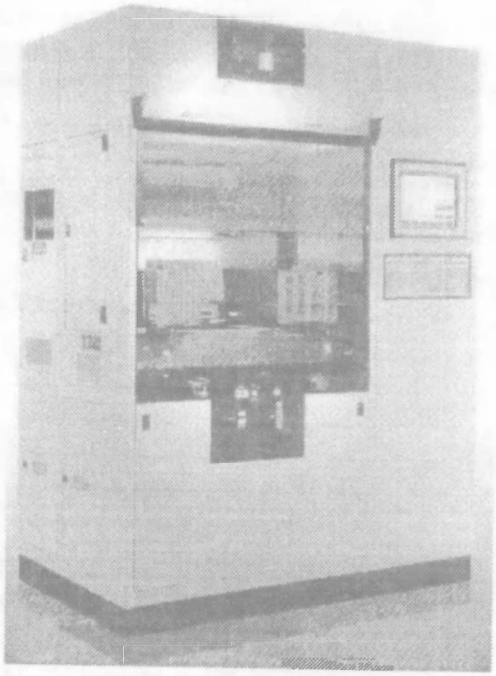

Рис.1. Установка «Термоимпульс 8800»

Несмотря на разнообразие конструктивных решений, установки БТО состоят из следующих основных устройств – рабочей камеры с рядом систем: нагревательной оптической, измерения температуры пластины и управления процессом быстрого нагрева, формирования необходимой газовой среды в рабочей камере, управления с компьютером, программного продукта с пакетом рабочих, наладочных, контрольных и тестовых программ, загрузки и разгрузки рабочей камеры и вспомогательных устройств электропитания, охлаждения и др. [9,10].

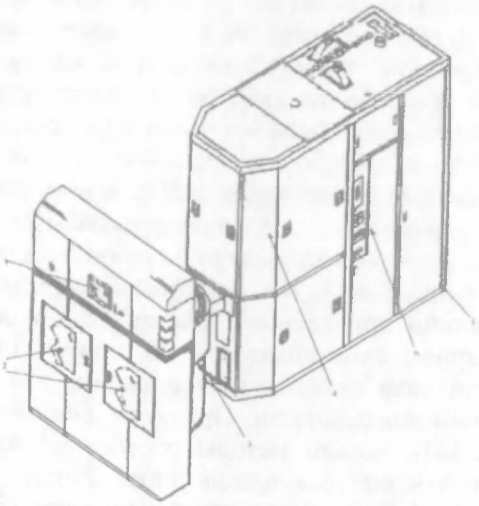

Рис.2. Установка «Омега 308»
1 – компьютер, 2 – камеры загрузки и выгрузки, 3 – перегрузчик, 4 – реакционная камера, 5 – блок питания, 6 – блок управления

Рассмотрим особенности конструктивных решений этих систем в установках БТО разных моделей. Конструкция рабочей камеры определяется условиями проведения газофазных процессов осаждения или выращивания пленок. Более простые условия при чисто термических процессах, производимых в инертных средах, не представляют жестких требований к материалам стенок камеры. Наиболее апробированным решением для газофазных процессов является выполнение камеры в виде прямоугольной кварцевой кюветы

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

рис.4, в которой на миниатюрных кварцевых опорах помещена полупроводниковая пластина. Загрузка-разгрузка пластины осуществляется через окно в боковой стенке, закрываемое кварцевым затвором. В кювету производится подвод и удаление из нее необходимых газовых составов. Через прозрачные стенки производится нагревание пластины. Процесс эксплуатации таких камер осложняется потребностью в периодических очистках стенок камер. Такие решения применены в ряде установок, выпускаемых фирмами США и Японии, например Heatpulse и др. Выполнение рабочей камеры с металлическими стенками не вызывает больших сложностей, например, при чисто термических операциях отжига, но предъявляются жесткие условия к материалам стенок рабочей камеры и защитным покрытиям на них по сохранению чистоты газовых составов в процессах роста пленок и возможности внесения в них дефектов и примесей. Сохраняется необходимость периодической очистки стенок камеры от любых загрязнений. Поверхность стенок должна сохранить высокую отражательную способность в широкой спектральной области – от 0.4 до 4 мкм.

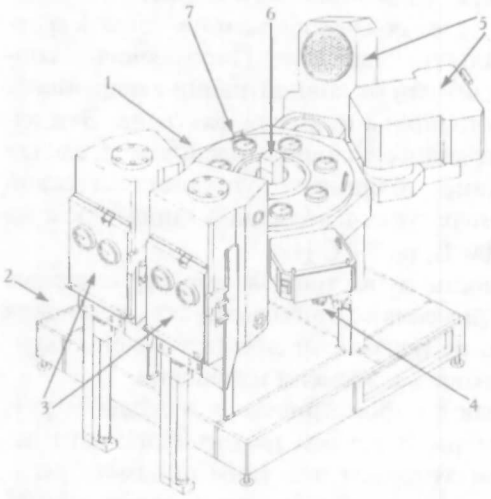

Рис.3. Установка «Центура»

1 – система газоподачи, 2 – станина, 3 – камеры загрузки, выгрузки и шлюзы, 4 – блок охлаждения, 5 – реакционные камеры БТО, 6 – робот перегрузки, 7 – транспортная вакуумная камера

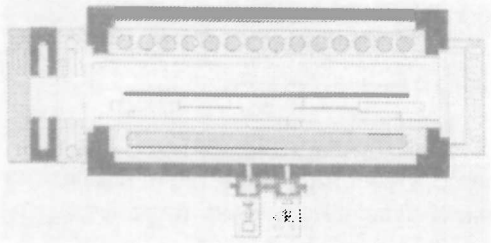

Рис.4. Камера с кварцевой кюветой

Для оптических нагревательных устройств в качестве источников излучения повсеместно применяются галогенные кварцевые лампы. Конструкция нагревателя определяется необходимостью обеспечить равномерный нагрев полупроводниковой пластины размером от 150 до 300 мм со скоростью нагревания до 150 – 200°С/с и неравномерностью температуры не более 1°С. Обеспечить высокую равномерность и скорость нагревания позволяет управление мощностью излучения отдельных ламп. Известны конструкции нагревателей с трубчатыми галогенными лампами и плоскими отражателями с золотым покрытием, отличающиеся различными схемами расположения ламп (с одной и двух сторон пластины), например в установках Heatpulse и Omega 308. Более распространены растровые прожекторные системы с малогабаритными одноцокольными галогенными лампами и различными системами отражателей. Для достижения равномерного нагрева пластины напряжение регулируется или индивидуально у каждой из ламп (установки Heatpulse), либо источники излучения разбиваются на группы, в которых осуществляется регулирование мощности излучения. Такие нагреватели применены в установках модели Centura фирмы Appl. Mat., CVC s Connexion и др.

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

Уменьшение размеров элементов ИС и увеличение диаметра пластин обусловливает необходимость повышения точности контроля температуры и ее однородности в нестационарных тепловых процессах. Процесс измерения температуры в установках БТО значительно отличается от измерений при обычной термообработке. В случае быстрой термообработки все процессы протекают в нестационарных условиях [11] и обеспечить воспроизводимость технологии на разных пластинах возможно путем управления этими режимами для каждой пластины. Реализовать такой процесс можно при условии точного измерения температуры пластины в данный момент и управления потоком излучения в реальном времени. Задача усложняется тем, что теплоемкость, теплопроводность и поглощение излучения пластиной изменяются с изменением температуры пластины. В установках БТО используются два метода управления изменением температуры пластины [12]. Управление с измерением и обратной связью режимом работы нагревателя и метод, основанный на повторяемости термического цикла, позволяет использовать менее быстродействующие методы измерения температуры пластины. Оба этих метода зависят от возможности определять изменения оптических свойств пластины, т.е. от ее способности поглощать и отражать излучение в широком спектральном диапазоне. Поглощающая способность пластины изменяется в зависимости от концентрации легирующих примесей в поверхностных слоях, их толщины и других факторов. Эти изменения существенны даже при колебаниях толщины пленок в пределах технологических допусков. Изменение толщины поликристаллической пленки на 10% влечет изменение температуры, измеренной пирометром на длине волны 1 мкм при нагреве до 1100°С, на 39°С [12].

Несмотря на недостаточную точность и быстродействие термопарные устройства измерения температуры применяются в большинстве установок БТО. Быстродействие этих устройств не превышает десятых долей секунды, а точность зависит от качества контакта и времени измерения.

Большим быстродействием обладают пирометрические методы и устройства измерения текущей температуры пластины по интенсивности испускаемого ею излучения. Наряду с излучением пластины пирометр регистрирует излучение других тел, которое попадает на его чувствительный элемент, поэтому необходимо отфильтровать паразитное излучение.

Самой серьезной проблемой остается неизвестная излучаемость самой пластины,которая приводит к температурной погрешности $\Delta T = T_д - T_и$ где $T_д$ – действительная температура пластины, $T_и$ – измеренная температура пластины. Между этими температурами существует известная зависимость [11]

$$\frac{1}{T_и} = \frac{1}{T_д} + \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{\varepsilon_д}{\varepsilon_и} \text{ или } T_д = \frac{T_и}{1 - T_и \dfrac{\lambda}{C_2} \ln \dfrac{\varepsilon_д}{\varepsilon_и}},$$

где λ – длина волны настройки пирометра; C_2 – вторая константа измерения Планка (13,388 мкм/К); $\varepsilon_д$ – спектральная чувствительность пирометра, установленная для данной длины волны; $\varepsilon_и$ – действительная чувствительность пирометра на этой длине волны в процессе измерения.

Спектральная чувствительность изменяется в зависимости от толщины и свойств поверхностных пленок, что может привести к погрешности определения температуры пластины в десятки градусов. Известны попытки повысить точность измерения пирометров путем проведения измерений как в широкой спектральной области, так и в нескольких узких полосах (двухцветный пирометр).

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

Пирометрические методы, несмотря на недостатки, широко применяются в большинстве установок БТО. Известны конструкции как одноканальных, так и многоканальных пирометров с различными спектральными характеристиками. Фирма Applied Materials в установках Centura применила многоканальную пирометрическую систему с волоконными световодами. Однако недостатки данных методов не позволяют решить задачу повышения точности измерения до 1°С в диапазоне 1000°С. Необходимы новые методы измерения текущей температуры пластины.

Практически все выпускаемые установки оборудованы компьютерными системами управления и микропроцессорными устройствами, позволяющими автоматизировать не только основной технологический процесс, но создать богатые возможности сервисного обслуживания. Для этого разработано программное обеспечение рабочего цикла, контроля, диагностики и статистической обработки режимов управления технологическими процессами.

В подавляющем большинстве установок БТО все операции по перегрузке пластин осуществляются в инертных средах очищенного газа с классом чистоты менее 10. Высокой степени очистки подвергаются технологические газовые смеси и даже вода, охлаждающая стенки рабочей камеры. Для удаления отработанных газов и поддержания рабочего давления применяются безмаслянные средства откачки и скруберная система очистки отработанных газов.

* * *

Современная установка БТО при производстве СБИС должна работать в составе автоматизированных модулей с обыкновенными и SMIF кассетами. Базовая модель такой установки позволяет организовать производство модификаций, приспособленных для конкретных технологических операций (отжиг, окисление и др.) и размеров полупроводниковых пластин (150, 200, 300 мм). Высокоэффективный ламповый осветитель и рабочая камера с химически стойкими зеркальными стенками способны обеспечить скорость нагревания до 300°С/с. Компьютерное управление нагревом в реальном времени, быстродействующее прецизионное измерение температуры пластины позволяет реализовать для каждой из них оптимальный процесс термообработки.

Установка с такими техническими характеристиками и базовые технологические процессы БТО, удовлетворяющие потребностям современных и перспективных СБИС, разрабатываются в настоящее время в Республике Беларусь предприятиями «КБТЭМ-ОМО» концерна «Планар» и НИКТП БМС НПО «Интеграл». Они предназначаются для переворужения предприятий электронной промышленности.

[1] Зотов В.В., Королева Е.А. Новые применения лучистой энергии в микроэлектронике. Ч. 1. Обзоры по электронной технике. 1981. Сер. 6. Вып. 7.
[2] Лабунов В.А., Борисенко В.Е., Грибковский В.Е. // Зарубежная электронная техника. 1983. №1.
[3] Reid K.G., Si-taram A.R. // SST. February. 1996.
[4] Проспект фирмы AG Associates USA.
[5] Проспект фирмы Moore Technologies USA.
[6] Проспект фирмы Applied Materials USA.
[7] Проспект фирмы CVC Products USA.
[8] Проспект фирмы Electrische Anlagen GmbH+Co FRG.
[9] De Hart Bill, Johnsgard Kris // SST. February. 1996.
[10] Singer Peter // Semi. International. March. 1996.
[11] Зворыкин Д.Б., Прохоров Ю.Н. Применение инфракрасного лучистого нагрева в электронной промышленности. М., 1980.
[12] Timans Paul J. // April. 1997.

Поступила в редакцию 29.10.99.

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm