

Р. В. РОГОВ, д. ф.-м. н. С. В. МЕЛЬНИЧУК,  
к. ф.-м. н. Г. И. ВОРОБЕЦ

Украина, Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича  
E-mail: vgeorge@chnu.cv.ua

Дата поступления в редакцию  
23.05 2005 г.

Оппонент к. т. н. Н. Т. КЛЮЧНИК  
(ЦНИТИ "Техномаш", г. Москва)

## СЕТЕВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫРАЩИВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛОВ И ТОНКИХ ПЛЕНОК

*Экспериментальное моделирование аппаратно-программного обеспечения показало достаточную надежность работы системы и значительное уменьшение трудоемкости контроля и управления параметрами технологического процесса.*

Электрофизические параметры датчиков излучения инфракрасного и видимого диапазонов спектра на основе бинарных и тройных полупроводниковых соединений определяются структурным совершенством кристаллов и поликристаллических пленок, что обеспечивается прецизионным контролем температурного режима их выращивания [1]. Технологическими особенностями синтеза и роста полупроводниковых кристаллов являются длительность этих процессов (от нескольких дней до нескольких недель), использование различных методов синтеза соединений (Бриджмена, Чохральского, зонной плавки и их модификаций), высокие температуры процессов и агрессивность используемых химических элементов (ртути, кадмия, теллура и др.). Такие технологические процессы очень трудоемки, а их нарушение может привести к экологическому загрязнению окружающей среды.

Для оптимизации технологического процесса необходимо решить несколько задач, главными из которых являются автоматизация управления режимами работы отдельных технологических установок и оптимизация обработки информационных данных о параметрах процесса. В целом данная техническая проблема может быть определена как задача оптимального управления системой, состоящей из совокупности нескольких технологических объектов. Решение этой задачи необходимо искать для каждого конкретного случая в зависимости от граничных условий.

Для кристалльного полупроводникового производства существует много решений конкретных технологических задач, которые нашли свое воплощение в промышленных технологических установках. Однако описание комплексного и универсального подхода к решению указанной задачи с помощью локальной технологической сети, состоящей из установок различных типов, в литературе отсутствует.

Целью данной работы является разработка аппаратно-программных средств локальной технологической сети, позволяющей автоматизировать процесс

кристалльного производства и формирования тонкопленочных структур на основе соединений CdTe, HgMnTe, CdZnTe и др. в лабораторных условиях. Под технологической сетью (ТС) мы понимаем локальную информационно-коммуникационную сеть, обеспечивающую взаимосвязь отдельных технологических объектов (ТО) на физическом уровне и предназначенную для программно-управляемой передачи информационных сигналов измерения физических величин от ТО к устройству управления (УУ) и управляющих сигналов от УУ к ТО.

Предложенная технологическая сеть (рис. 1) построена по классической схеме звезды [2, с. 44] и состоит из отдельных модулей, управляемых серверной ЭВМ. Каждый модуль включает локальную (Л) ЭВМ, устройство сопряжения с объектом (УС) и отдельный ТО. Физическая модель разрабатываемой системы определяет ТО в виде высокотемпературных печей для выращивания полупроводниковых кристаллов методом Бриджмена и вакуумные установки для напыления металлических и полупроводниковых пленок методами термического или магнетронного распыления материала. Непосредственное управление технологическими установками для высокотемпературных процессов осуществляется микропроцессорными устройствами на базе микроконтроллеров и персональными компьютерами (ПК).

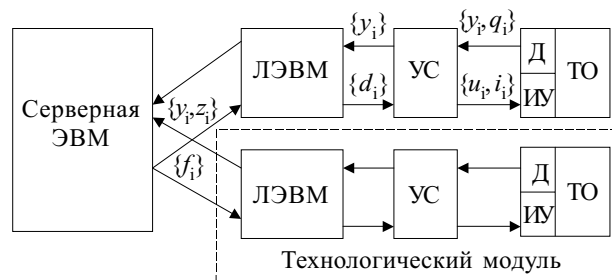


Рис. 1. Функциональная схема технологической сети

Коммутация оборудования к ПК реализована через параллельный или последовательный интерфейс [1, 3]. Поэтому техническое решение задачи оптимального управления ТС проводится в два этапа. На первом этапе реализуется разработка УС, предназначенных для непосредственной автоматизации ТО, а на втором – разработка программного обеспечения (ПО) и применение стандартного (сетевых карт) и специализированного (маршрутизаторов и т. п.) сетевого

оборудования для оптимизации контролирующих и управляющих функций системы.

Используемые в настоящее время в полупроводниковом производстве серийные высокоточные программируемые регуляторы типа "РИФ" и "ВРТ" [1] частично решают вопросы автоматизации управления ТО. В регуляторах типа "РИФ" даже предусмотрена возможность работы по заданной программе. Но они характеризуются достаточно низкой надежностью, ограниченностью программируемых функциональных режимов и отсутствием возможности накопления и математической обработки информации.

Указанные недостатки устраняются при использовании в качестве УС микроконтроллеров PIC16C74, AT90S8535 и их аналогов, имеющих, кроме встроенных аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), также и репрограммируемые блоки памяти (EPROM) [4, 5].

Массив входных сигналов, поступающих на УС, включает множество информационных аналоговых сигналов  $\{x_i\}$  от датчиков контроля температуры в различных зонах технологических печей, температуры подложек и давления в вакуумных камерах, а также дискретных сигналов  $\{q_i\}$ , отражающих состояние заслонок испарителей в вакуумной камере, скорость движения ампулы в зонной печи, концевых выключателей и т. п. Контроль данного массива сигналов осуществляется, как правило, в режиме циклического сканирования датчиков (Д) согласно программе управления, записанной в памяти ПИС-контроллера. После аналогово-цифровой обработки данный массив преобразуется в обобщенный цифровой массив  $\{y_i\}$  и запоминается в виде файла архива данных измерений в памяти локальной ЭВМ. В зависимости от задачи контроля полученные данные обрабатываются и могут отображаться в табличном и/или графическом виде на локальном дисплее и транслироваться на сервер.

Транспортный поток от локальной ЭВМ, кроме цифрового массива  $\{y_i\}$ , содержит массив событий  $\{z_i\}$  контроля состояний ПК. Управляющие сигналы сервера  $\{f_i\}$  содержат инструкции протоколов сетевого обмена информацией и сигналы коррекции управления технологическим процессом  $\{d_i\}$ . От сервера к локальной машине они передаются в пакетном режиме. Функции управления  $\{d_i\}$  дешифруются в ПК и при необходимости транслируются в УС. После цифро-аналоговой обработки в УС они поступают на исполнительные устройства (ИУ) и механизмы ТО в виде запрограммированных уровней тока или напряжения  $\{i_i, u_i\}$  (рис. 1).

Сервер выполняет функции установления связи с отдельными объектами системы через периферийные ЭВМ; сбора, обработки и хранения данных, которые поступают с отдельных технологических установок;

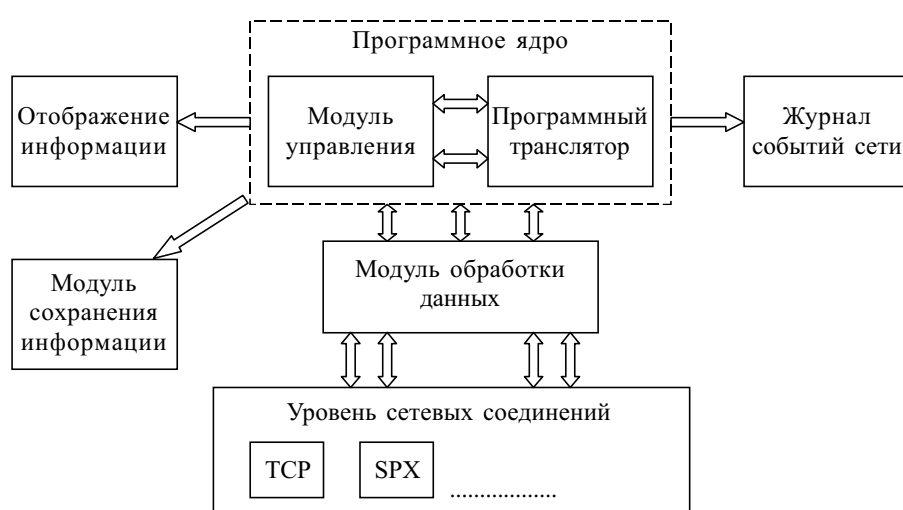


Рис. 2. Структурная схема программного обеспечения сервера

реагирования на события, происходящие в сети; протоколирования событий в системе; контроля работоспособности периферийных машин и локальных линий связи.

Структура серверного программного обеспечения (ПО) показана на рис. 2.

Уровень сетевых соединений — это функциональный модуль, предназначенный для соединения с клиентами по определенным сетевым протоколам — TCP, SPX и др. Реализация каждого протокола представляется в виде отдельной библиотеки динамического подключения (формата \*.DLL), которая присоединяется к программному обеспечению сервера по технологии plug-in. Такой подход позволяет использовать для передачи разные сетевые протоколы без перекомпиляции всего ПО, а также обеспечивает гибкость в проектировании и налаживании всей сети. Кроме этого он позволяет использовать в качестве канала передачи данных произвольные каналы связи, включая обычные Ethernet-сети, основное требование к которым — поддержка их работы на стороне клиента и наличие модуля для серверной части.

Модуль обработки данных выполняет все операции для представления данных, которые транслируются между сервером и локальными модулями системы на уровне сетевых соединений. Поскольку достаточно трудно унифицировать все возможные ТП, то для управления работой серверного ПК разработан программный транслятор. Он представляет собой несложный алгоритмический язык, позволяющий запрограммировать действия сервера на определенные события. Сервер протоколирует время, дату и описание предусмотренных программой событий и внештатных ситуаций ТС в „Журнал событий сети”.

Для унификации процесса передачи данных разработан протокол высокого уровня TNP (Technological Network Protocol), который использует протоколы уровня сетевых взаимодействий. Он представляет собой набор команд, предназначенных для контроля параметров состояния технологических модулей и обмена информацией между ними и серверной ЭВМ. При необходимости фиксированный набор команд TNP, таких как соединение, готовность к приему данных,

передача данных, запрос на обслуживание, конец связи и др., можно дополнить специфическими командами в зависимости от типа ТП, физической реализации сети, типа передаваемой информации и т. д. Также возможна разработка сетевых драйверов, что позволит напрямую управлять коммуникационными портами ПК (LPT, COM, USB) через сеть.

На стороне локальной ЭВМ, в зависимости от задач управления и обработки данных, реализацию данного протокола обеспечивает стандартное ПО и/или разработанные библиотеки динамического подключения, которые реализуют протокол TNP на основе определенного сетевого протокола. Это позволяет без значительных изменений в существующем программном обеспечении технологической установки передавать данные на сервер, а разработка программного обеспечения для конкретной технологической установки не требует знания методики программирования протоколов передачи данных. Соответственно предлагаемое программное обеспечение сервера является независимым от типа обслуживаемого технологического оборудования.

Визуальное представление результатов на сервере реализовано в простой и понятной пользователям форме с использованием технологии объектно-ориентированного анализа и проектирования [6]. Существует возможность просмотра динамики изменения каждого параметра технологического процесса или событий сети, а также одновременное представление данных в обобщенном окне в виде обычного пульта управления (рис. 3). Конфигурирование оконного интерфейса пользователя происходит в автономном режиме при инициализации отдельных модулей системы.

В системе также предусмотрено применение обработки видеoinформации о технологических процессах, потенциально опасных для обслуживающего персонала. В качестве источника видеосигнала можно использовать стандартные аналоговые или цифровые видеокamеры или WEB-камеры, подключаемые к локальным ЭВМ через USB-порт. Однако для использования видеoinформации в процессе управления необходимо разработать специфическое интеллектуальное ПО, обеспечивающее распознавание и идентификацию изображений и принятие решений.

Экспериментальное моделирование аппаратно-программного обеспечения для технологической сети на основе клиент-серверного подхода при использовании трех технологических объектов показало достаточную надежность работы системы и значительное уменьшение трудоемкости контроля и управления параметрами технологического процесса. Время разработки  $t_n$  аппаратно-программного обеспечения для нового технологического модуля, включаемого

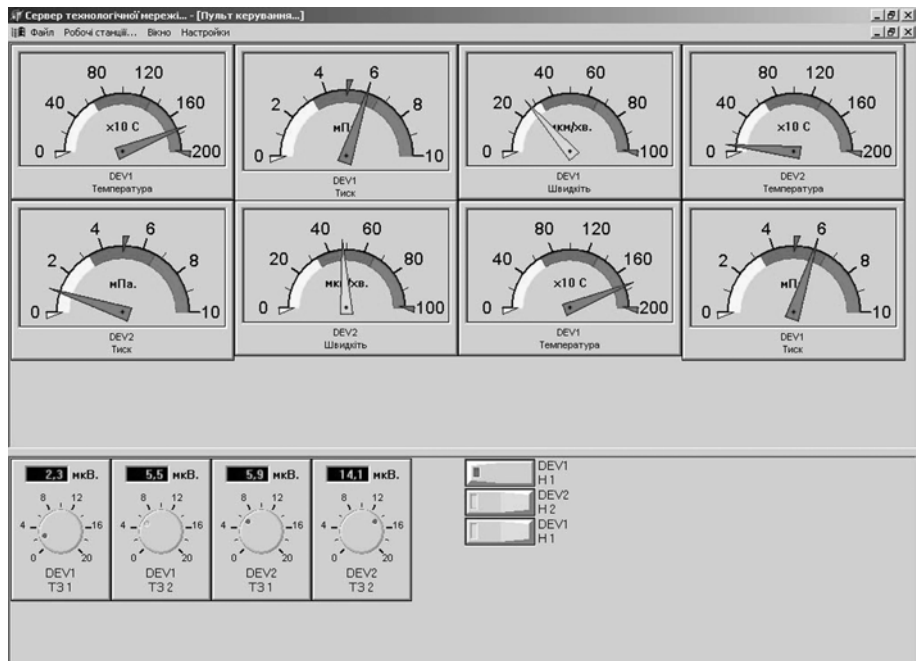


Рис. 3. Пульт управления

в систему, приблизительно обратно пропорционально общему количеству модулей  $N$  в системе:  $t_n \approx 1/N$ . Уменьшение трудоемкости ТП обеспечивается уменьшением количества обслуживающего персонала.

Используемая модель технологической сети и универсальный подход к созданию программного обеспечения позволяет значительно сократить сроки проектирования и наладки систем при изменении конфигурации сети и подключении нестандартных технологических модулей. Применение различных сетевых протоколов и разработанных динамических библиотек позволяет реализовать произвольную конфигурацию технологической сети и использовать в качестве каналов связи существующие технологии построения локальных сетей. Число станций (технологических модулей) сети практически не ограничено, поскольку их адресация определяется требованиями стандартных сетевых технологий. Предложенный протокол TNP (Technological Network Protocol) значительно упрощает процесс обработки и трансляции данных и повышает производительность системы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Раренко І. М., Воробець Г. І., Воробець О. І. та ін. Контролер керування температурними режимами вирощування напівпровідникових плівок на базі ІВМ РС / Мат-ли ІХ Міжнар. конф. "Фізика і технологія тонких плівок". Т. 1.— Івано-Франківськ: Місто НВ, 2003.— С. 58—59.
2. Олифер В. А., Олифер Г. Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы.— СПб.: Питер, 2002.
3. Воробець Г. І., Воробець О. І., Воропаєва С. Л., Горлей П. М. Присприй для автоматизації оптичних досліджень бар'єрних структур на основі напівпровідникових сполук  $A^2B^6$ ,  $A^3B^5$  // Вісник Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Фізика.— 2004.— № 6.— С. 40—42.
4. Тавернье К. PIC-микроконтроллеры. Практика применения.— М.: ДМК Пресс, 2003.
5. Голубцов М. С., Кириченко А. В. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному.— М.: Солон-Пресс, 2004.
6. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++.— М.: Бинум, 2000.