

VII. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ И ПЛЕНОК КРЕМНИЯ

УДК 681.513:621.315.592

ИНФОРМАЦИОННО–УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ВЫРАЩИВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ

© 2007 г. А. А. Лубков, В. Е. Зюбин, С. В. Перебейнос, А. Д. Петухов
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Рассмотрена информационно–управляющая система моделирующего комплекса выращивания крупногабаритных монокристаллов. Предложенная архитектура отличается отсутствием промежуточных контроллеров, обеспечивает автоматическое управление экспериментом, в том числе устройствами, расположенными на подвижных конструкциях. Аппаратура позволяет проводить синхронизованные по времени измерения температуры поверхности тигля, кристалла и в объеме расплава. Программное обеспечение поддерживает режимы планирования, проведения и анализа эксперимента.

Введение

В настоящее время бурно развиваются фундаментальные и прикладные исследования процессов кристаллизации с использованием имитационных стендов, что позволяет многократно удешевить и ускорить процесс получения новых знаний. Преимущества имитационного моделирования следующие:

- безопасность эксперимента;
- снижение энергетических затрат;
- исключение дорогостоящих расходных материалов (кварцевые тигли, аргон, кремний, электроэнергия);
- возможность исследования распределения температуры на поверхности тигля, кристалла и внутри расплава низкоинерционными датчиками–термопарами и визуальное наблюдение массопереноса с использованием специально подготовленных взвесей.

При имитационном моделировании, как и в реальном эксперименте, требуется получение точных знаний о параметрах процесса. Поэтому первостепенное значение приобретает исследование принципов построения автоматизированных систем моделирования и управления имитационными стендами, ориентированными на прецизионные и высокоскоростные измерения, встроенную обработку сигналов, гибко пе-

рестраиваемую конфигурацию, приемлемую стоимость.

Моделирующий комплекс

В Институте теплофизики (ИТ) СО РАН создан комплекс физического моделирования процесса выращивания крупногабаритных кристаллов по методу Чохральского. Комплекс (рис. 1) состоит из следующих элементов:

- камеры нагревателя с прозрачными стенками, заполненной водой регулируемой температуры;
- вращающегося прозрачного тигля с прозрачным веществом — имитатором расплава, имеющим температуру кристаллизации в районе 40 °С;
- вращающейся модели кристалла, охлаждаемой со стороны верхней, не погруженной в имитатор расплава части элементом Пельтье с регулируемой температурой;
- термопар, расположенных на образующей тигля, поверхности кристалла и четырехканальном температурном зонде, перемещающемся внутри тигля по вертикали и по заданному конструкции зонда радиусу.

Комплекс позволяет исследовать распределение температур в расплаве и одновременно наблюдать поле скоростей, используя прозрачные имитаторы расплавов и дисперсионные добавки.



Рис. 1. Моделирующий комплекс выращивания крупногабаритных кристаллов методом Чохральского

Система управления комплексом

В Институте автоматики и электрометрии (ИАиЭ) СО РАН разработана информационно-управляющая система* моделирующего комплекса выращивания крупногабаритных кристаллов (**ИУС МКВК**) ИТ СО РАН.

Для обеспечения требований эксперимента эта система, создание которой является целью настоящей работы, должна: регулировать скорости вращения тигля и имитатора кристалла; температуру нагревателя тигля и охладителя модели кристалла; перемещение зонда в заданное положение в объеме расплава; сбор данных (о температуре с частотой не менее 100 Гц), их обработку, визуализацию, архивирование. Должно быть обеспечено одновременное измерение температуры в разных каналах с разбросом не более 10 мкс. Объем измерительной информации, поступающей от МКВК, — до 10—25 Кбод. Система должна быть ориентирована на серийноизготавливаемые компоненты, обеспечивать расширяемость и модификацию, иметь приемлемую стоимость. Часть узлов моделирующего комплекса подвижна, питание к ним поступает по коллекторным токобъемникам, передача же по ним аналоговых и управляющих сигналов затруднена. Условия эксплуатации — лабораторные. Жес-

ткие требования по надежности, такие как на реальной ростовой установке, — отсутствуют.

Для обеспечения указанных требований была исследована и реализована ИУС МКВК (рис. 2). В ней интеллектуальные (процессорные) устройства сбора данных и исполнительные механизмы через последовательные кабельные и/или радиоканалы связи подключены непосредственно к персональному компьютеру оператора (**ПКО**).

По каналу RS485 (COM5) к ПКО подсоединены:

- четырехканальный модуль аналоговых выходов ADAM-4024, используемый для регулирования: скоростей вращения приводов тигля и модели кристалла, температуры охладителя кристалла (Пельтье), нагревателя расплава (термостат);
- двухканальный модуль счетчиков-таймеров ADAM-4080, используемый совместно с датчиками скорости BE 178A для контроля скоростей вращения тигля и модели кристалла;
- модуль цифровых входов/выходов ADAM-4055B, предназначенный для контроля за уровнем воды в термостате.

По каналу Ethernet через четырехпортовый Switch подключены три восьмиканальных термодатчиков модуля Mirage N THERM, используемых для измерения температур на поверхности тигля (6 каналов), кристалла (2 канала), в заданной точке расплава внутри тигля (2 канала) и температуры рабочей жидкости нагревателя (1 канал). Связь с двумя модулями, расположенными на подвижных частях, осуществляется по радиоканалу (стандарт 802.11g, WiFi-модули WAP40xx и P-330W EE фирмы Planet).

Для одновременного измерения температуры разными модулями создан модуль синхронизации измерений, обеспечивающий разброс в начале момента каждого измерения модулей Mirage N THERM не более 10 мкс, при типичном времени измерения канала ~1 мс.

Шаговые двигатели MDrive17Plus управления приводом вращения и перемещения двухканального температурного зонда подключены к ПКО также по каналу радио Ethernet с его последующим преобразованием в проводной RS422 с помощью шлюза Ethernet/RS422, реализованном в модуле ADAM-4577. Двигатели MDrive17Plus имеют до 51200 микрошагов/об., позволяют поддерживать заданную скорость и ускорение, подсчитывать и хранить координату. Двигатели интегрированы в одном корпусе с драйвером и контроллером.

Для реализации рассмотренных каналов связи и их резервирования для возможных модификаций ИУС МКВК в стандартный комплект ПКО добавлена четырехпортовая плата интерфейсов RS-232/422/485 — PCI 1612B.

* Лубков А. А., Перебейнос С. В. // Тез. докл. «Четвертая Рос. конф. с междунар. участием по физике, материаловедению и физ.-хим. основам технологий получения легированных кристаллов кремния и приборных структур на их основе «Кремний-2007». — М.: МИСИС, 2007. — С. 318—319.

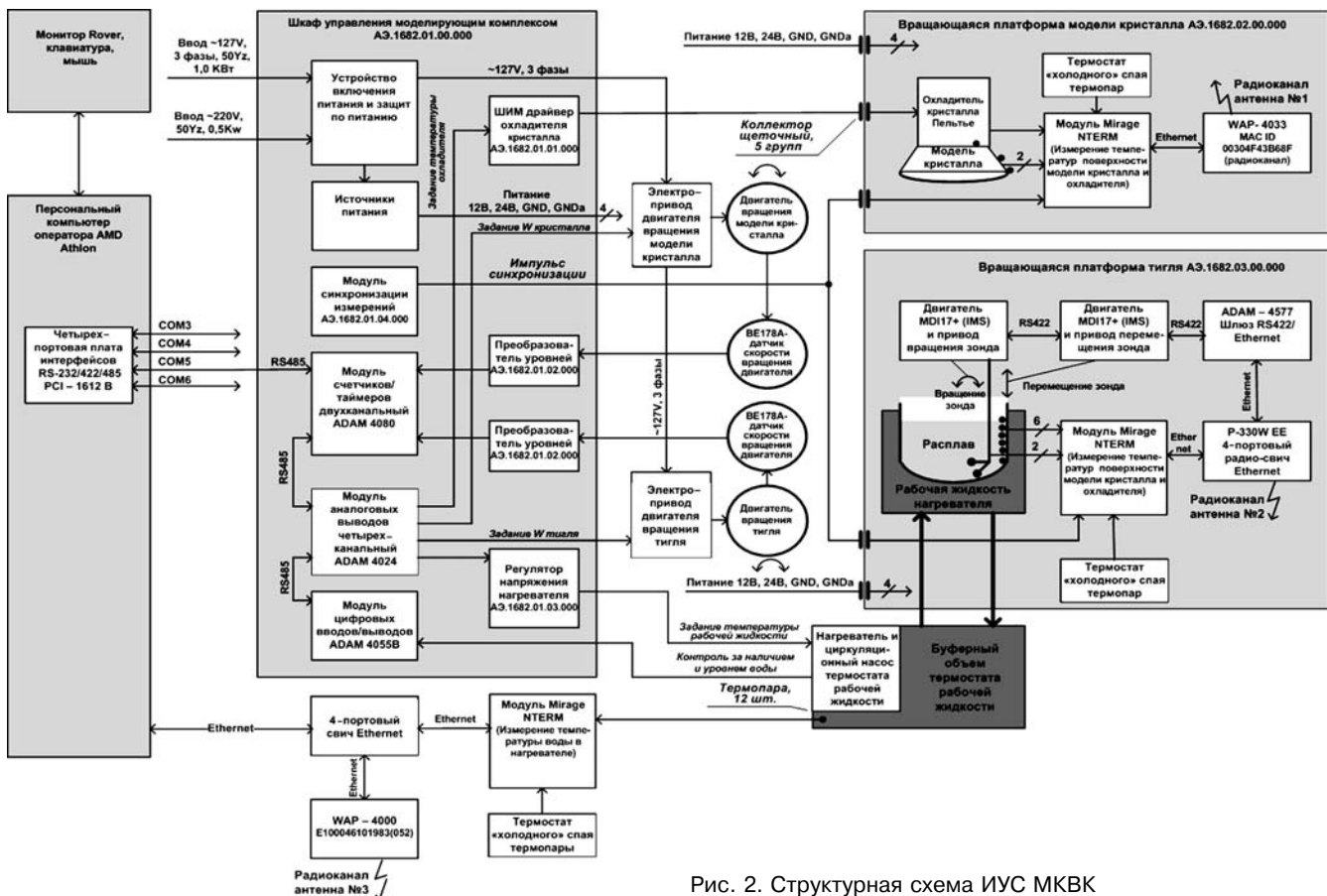


Рис. 2. Структурная схема ИУС МКВК

Созданная архитектура отличается отсутствием промежуточных контроллеров, обеспечивает централизованное управление экспериментом, в том числе устройствами, расположенными на подвижных конструкциях. Управляющая система изготовлена из серийных компонентов, имеет приемлемую стоимость, обеспечена ее расширяемость и модификация. Конструктивно ИУС МКВК состоит из настенного шкафа управления моделирующим комплексом; подсистем тигля и модели кристалла, расположенных на вращающихся платформах; подсистем вращения тигля, модели кристалла; нагревателя рабочей жидкости.

Верхний уровень обеспечивает: графический интерфейс оператора, автоматическое формирование заданий в контуры регулирования в соответствии со схемой эксперимента, автоматическое регулирование параметров. Нижний уровень занимается обслуживанием протоколов связи с выносными датчиками и исполнительными устройствами, а также ведением архива эксперимента. Общение между верхним и нижним уровнями происходит через модуль текущих параметров (МТП), в котором хранятся актуальные значения параметров системы.

Программное обеспечение системы управления

Программный комплекс управления ИУС МКВК (рис. 3) обеспечивает три режима работы: задание схемы эксперимента; ручное и автоматическое проведение эксперимента; обработку архива эксперимента.

Программное обеспечение автоматической отработки эксперимента имеет модульную архитектуру (рис. 4) и функционально представлено двумя независимыми

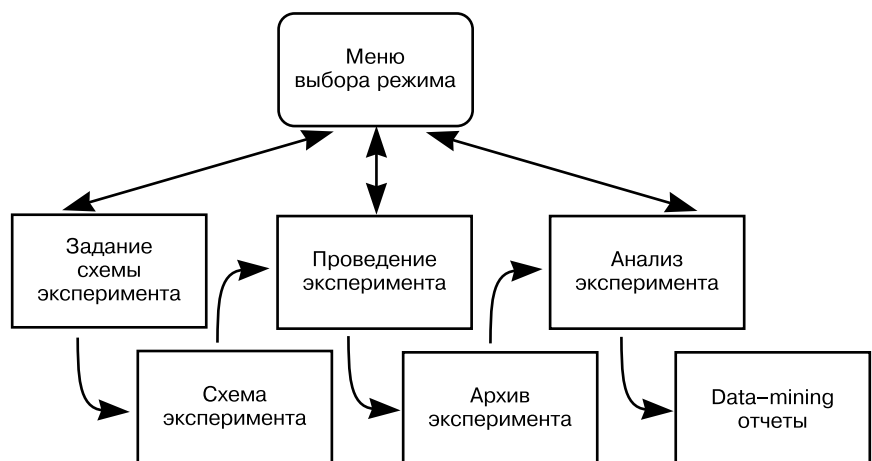


Рис. 3. Режимы работы программного комплекса

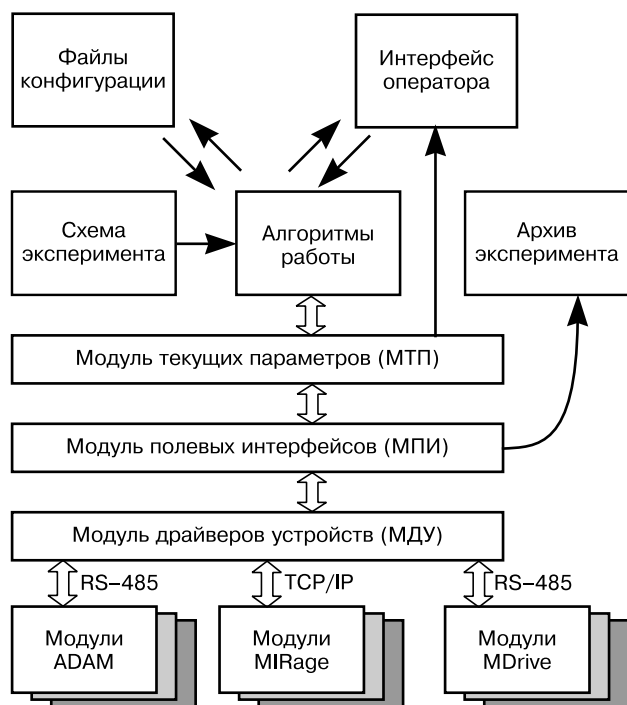


Рис. 4. Структура программного обеспечения

Созданный набор алгоритмических компонентов обеспечивает: создание МТП по конфигурационным файлам, обработку алгоритмов ПИД — регулирования и широтно-импульсной модуляции (расширенные алгоритмом Брезенхема), общение с входными/выходными модулями серии ADAM 4xxx (ЦАП, частотомер, аналоговые входы/выходы) и MIRage.

Разработанный формат описания схемы эксперимента (рис. 5) позволяет задавать циклически повторяющиеся последовательности в 6-фазовом пространстве (угловая скорость вращения тигля и кристалла, температуры нагревателя и охладителя, пространственные координаты двухточечного измерительного зонда). Список обрабатываемых сигналов определяется конфигурационными файлами, обеспечивающими гибкую реконфигурацию и расширение системы.

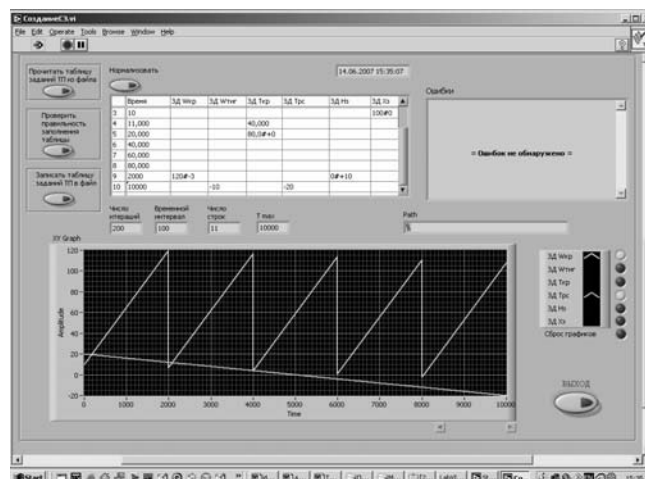


Рис. 5. Диалоговое окно для режима «Задание схемы эксперимента»

Текущее состояние работ

В первом полугодии 2007 г. создана и отлажена в ИАиЭ СО РАН ИУС МКВК. Экспериментально подтверждены требуемые технические характеристики системы. Проведен монтаж и начаты пусконаладочные испытания этой системы на моделирующем комплексе выращивания крупногабаритных кристаллов в ИТ СО РАН.

Заключение

Определена структура ИУС, набор выносных датчиков и измерительных модулей, которые совместно с созданным программным обеспечением позволяют осуществить автоматизацию моделирующего комплекса выращивания крупногабаритных монокристаллов кремния.

Проведена сборка и первичное тестирование ИУС МКВК на соответствие заданным требованиям. В конце 2007 г. запланировано начало проведения экспериментов по физическому моделированию процессов выращивания крупногабаритных кристаллов.

Работа выполнена в соответствии с Междисциплинарной программой СО РАН: 39.2 «Рост и свойства кристаллов» (2007—2009 гг.), при поддержке гранта № 84 СО РАН (2006—2008 гг.).

* * *