

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫРАЩИВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КРИСТАЛЛОВ ЛЕЙКОСАПФИРА



Винница 2015

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЕЙКОСАПФИРА

Благодаря уникальному сочетанию свойств (высокая твердость - уступает только алмазу, прочность, температура плавления, химическая и радиационная стойкость, оптическая прозрачность в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра) сапфир востребован практически во всех областях науки и техники.

В микроэлектронике

Сапфировые подложки – одна из основных областей применения сапфира. Подложки для изготовления радиоэлементов из кристаллов выращенных по модифицированному методу Киропулоса (ГОИ) дают самый высокий экономический эффект по соотношению себестоимость-качество.



Сапфировые подложки используются для эпитаксии полупроводниковых (GaN, Si, AlGaN и многих других) плёнок и изготовления интегральных схем. Важные достоинства сапфировой подложки – инертность, способность работы при высоких температурах и механических нагрузках, наличие больших диаметров. Поэтому их применяют даже, когда параметры кристаллической решетки не совсем совпадают с параметрами гетероэпитаксиальных структур.

В оптоэлектронике

В первую очередь, производство наиболее эффективных электролюминесцентных источников света, которые по совокупности светотехнических характеристик в 14—15 раз превосходят лампы накаливания. В этих устройствах сапфир используется в качестве подложки для нанесения светоизлучающих слоев различных соединений, в частности нитрида галлия и его твердых растворов. По оценкам специалистов, это одна из наиболее энергосберегающих технологий современности. Объем мирового рынка источников света нового поколения к 2015 году оценивается в девять-десять миллиардов долларов.

Основные изделия – это яркие светодиоды на основе сапфировых подложек 2 – 6 дюйма. Рынок светодиодов огромный – лампы всех видов, телевизоры, ноутбуки, мобильные телефоны, рекламные панели и многое другое. Активно развивается производство лазерных светодиодов.

В медицинской технике

Применение сапфира в медицине – это имплантология, хирургия и медицинское приборостроение. Инертностью и биосовместимостью сапфир превосходит все известные конструкционные материалы. Благодаря химической стойкости, низкому коэффициенту трения, высокой твердости и прочности, а также хорошему сродству к костной ткани, сапфир широко используется в качестве имплантов и искусственных суставов, которые не вступают в реакцию органическими кислотами и тканями.

Также сапфир используется для производства микроскальпелей.

В оптике

Сапфир является безальтернативным материалом для работы в экстремальных условиях – на земле, под водой и в космосе и приходит на смену кварцу. Благодаря высокой оптической прозрачности в сочетании с прочностью и температурой плавления в 2050 °С сапфир применяется в качестве защитных стекол в печах, криостатах, батискафах, космических аппаратах, противопожарных датчиках, прозрачной броне.

На основе компонентов из сапфира изготавливаются устройства для считывания штрихкодов, лазерные элементы линз и призм, световоды для широкого спектра применения при любых температурах, фокусирующие конусы, высокотемпературные термодарные чехлы, оболочки специальных ламп, защитные колпаки навигационных устройств, смотровые окна размером от несколько миллиметров до нескольких сотен миллиметров, экраны мобильных телефонов.

В специальном оборудовании и инструменте

Сапфир используется при изготовлении скальпелей для хирургии, резцов для чистового тонкого точения алюминиевых и медных сплавов, ножей для резки бумаги в промышленных плоттерах, фильер для протяжки проволоки, наконечников измерительных щупов, сопел для пескоструйной и гидроабразивной резки, нитеводителей в ткацком оборудовании, пропускных колец спиннингов, направляющих современных станков, подшипников трения и качения.

Также сапфир интенсивно используется для изготовления датчиков давления, влажности, массы, различных детекторов.

Химическая стойкость позволяет использовать сапфировые тигли, мензурки, капилляры, матрицы и пуансоны в особо чистых производствах. Насосы для хроматографов и разлива лекарств снабжены сапфировыми плунжерами.

Высокие диэлектрические свойства в сочетании с радиационной стойкостью обуславливают применение сапфировых изоляторов в т.ч. и на атомных станциях.

Сапфиры для часов

Из искусственного сапфира делают часовые «камни» (подпятники и опоры трения). Это доступный по цене, стабильного качества, твердый и износостойкий материал для узлов трения, с очень маленьким коэффициентом сухого трения.

Часовые "Стекла" из лейкосапфира и светлоокрашенных сапфиров применяют все известные производители качественных часов. Дело не только в "моде", на таких "стеклах" вы не увидите царапин.

Сувенирная продукция

Рюмки, пепельницы, шары, шахматы, медальоны, ножи. Видел сделанную на заказ сапфировую саблю длиной около 60 см.

Бронированные стекла

Благодаря твердости, практически не уступающей алмазу, сапфир широко используется в качестве бронированных стекол, шторок и прочих изделий в системах защиты и безопасности, в военной технике.

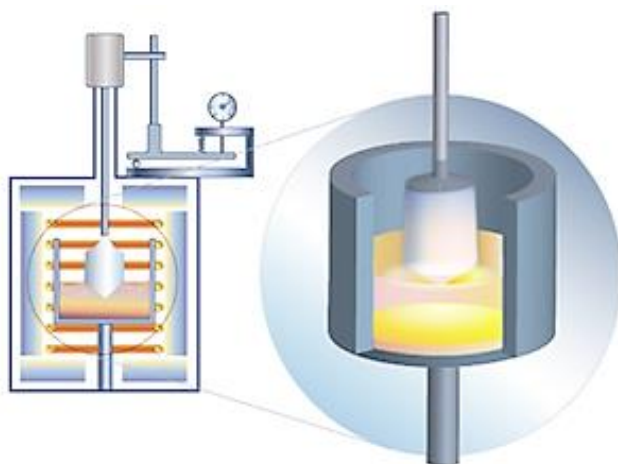
ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ САПФИРА

Метод Киропулоса

Основное преимущество метода Киропулоса заключается в его технической простоте и надёжности. Метод экономически выгоден, поскольку возможно более эффективное экранирование источника нагрева, сводящее невозвратные потери тепла к минимуму. Метод Киропулоса позволяет выращивать крупные монокристаллы, например, монокристаллы лейкосапфира весом до 150 кг. В качестве сырья используется химически чистый порошок оксида алюминия.

Этот метод заключается в том, что выращивание монокристаллов осуществляется непосредственно в расплаве путём плавного снижения температуры. Температура расплава понижается и изменяется отвод тепла от кристалла за счёт охлаждающего затравочного кристалла.

Рост происходит в вакууме в течении 10 – 15 суток. Шихта из оксида алюминия расплавляется в тигле до температуры выше температуры плавления и после в расплав вводится охлаждаемая затравка. Расплав медленно охлаждается. В результате чего на концах охлаждаемой затравки начинается кристаллизоваться монокристалл.



Кристаллизация происходит в расплаве, но монокристалл медленно вытягивается из расплава по мере уменьшения объёма расплава. Существенной проблемой является непостоянство скорости выращивания, поскольку теплообмен по мере увеличения массы монокристалла претерпевает изменения, учесть которые технически сложно. Поэтому скорость роста задаётся заведомо низкой (порядка 2 мм / ч), чтобы избежать возможного образования в монокристаллах различного рода включений, блоков и малоугловых границ.

Температура расплава в тигле поддерживается несколько выше точки плавления данного вещества. Электродпечь обычно оборудована специальной крышкой со смотровым окном.

В процессе выращивания кристалла технологи выделяют порядка десяти основных технологических этапов с различными технологическими параметрами. Этапы, в свою очередь, разделяются на участки, для каждого из которых определяются способы поддержания и регулирования технологических параметров.

Поэтому к системе управления предъявляются высочайшие требования по прецизионному измерению и регулированию уровней вакуума, измерению и регулированию температуры, измерению веса кристалла. Также система управления обеспечивает включение/выключение оборудование, контроль и управление его режимами работы, предотвращение аварийных ситуаций, в том числе возникающих вследствие ошибок персонала.

На данный момент специалистами «ИнноВиннпром» реализованы системы автоматического выхода на режим и управления процессом за исключением этапа затравки кристалла.

С целью недопущения срыва технологического процесса выращивания кристалла и разрушения теплового узла реализована многоуровневая отказоустойчивая архитектура АСУ ростовых установок



Промышленный компьютер

- ✓ задание параметров технологического процесса, визуализация и архивация полученных данных;
- ✓ возможность «горячего» перехода на управление с другого ПК
- ✓ ПК или сбоя ПО верхнего уровня



Программируемый логический контроллер Schneider M258

- ✓ управление технологическим процессом;
- ✓ регулирование технологических параметров;
- ✓ удержание параметров системы в случае отказа



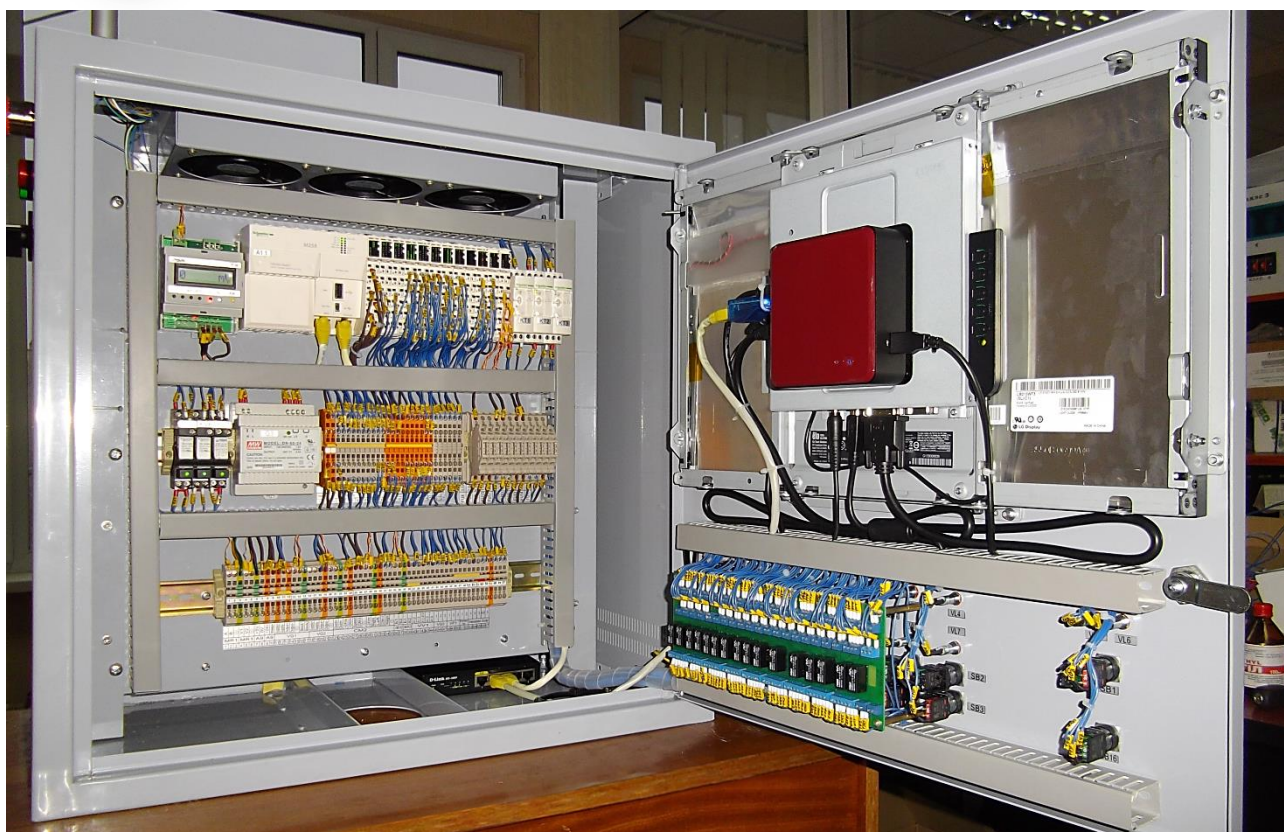
Релейная автоматика и ПЗА производства [Schneider Electric](#)

- ✓ управление вакуумным оборудованием;
- ✓ удержание режимов работы вакуумного оборудования в случае возникновения нештатных ситуаций



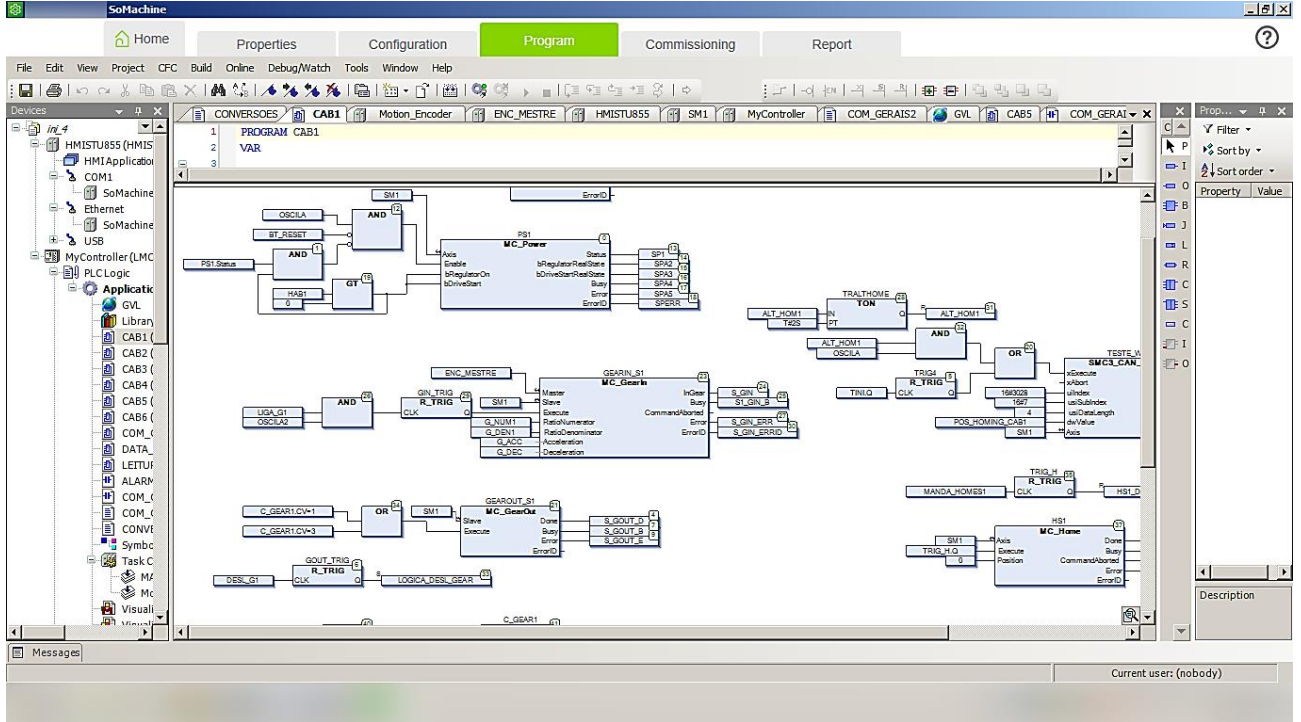
Измерители-регуляторы производства [ИнноВиннпром](#)

- ✓ удержание параметров нагревателя в заданных пределах с высокой точностью;
- ✓ сохранение нагревателя и кристалла в случае сбоя ПО;
- ✓ ПИД-регулирование энергетических параметров системы.

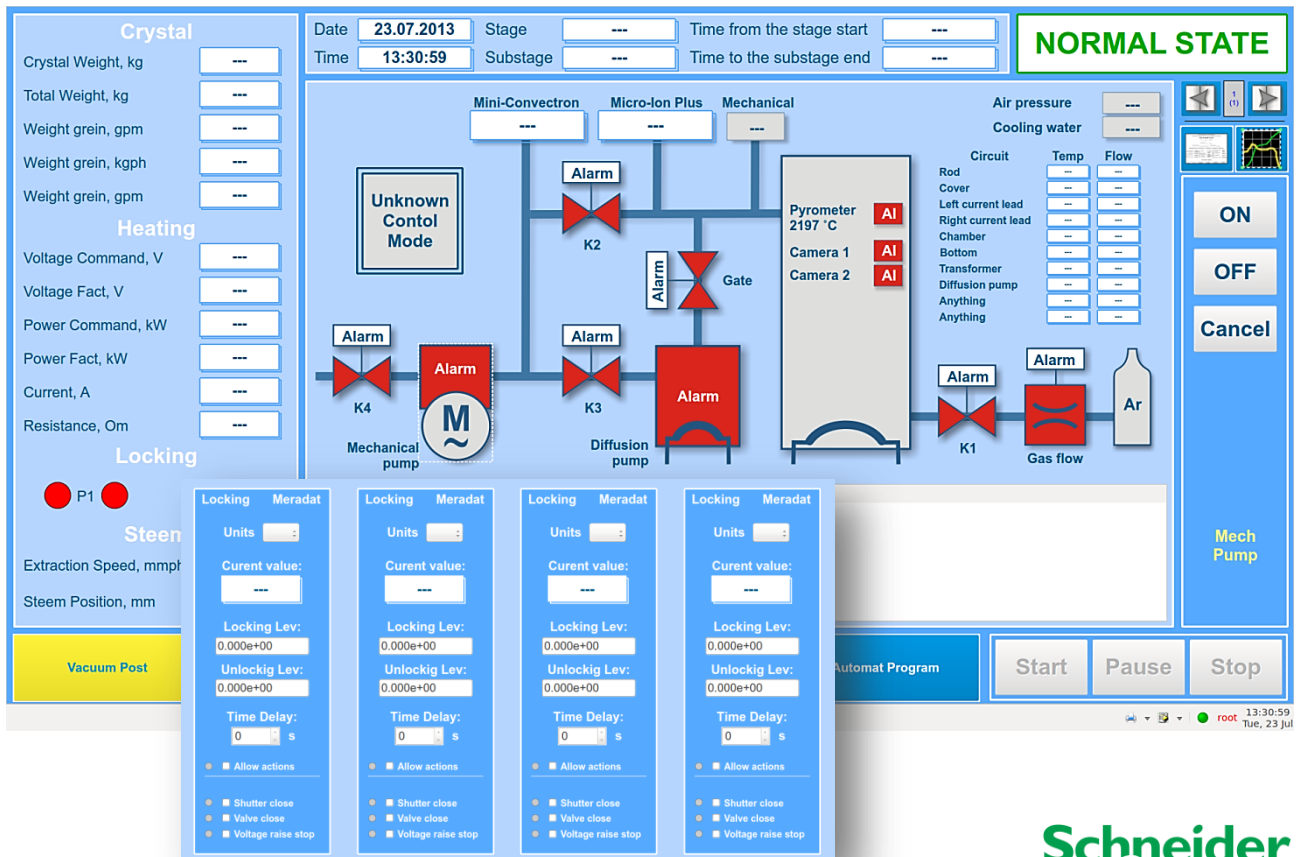


В качестве программного обеспечения ПЛК используется среда программирования [SoMachine - Schneider Electric](#).

В программном обеспечении ПЛК реализованы алгоритмы ведения технологических процессов, функции контроля и управления вакуумным оборудованием, ПИД-регуляторы систем управления нагревом и вытягиванием кристалла.

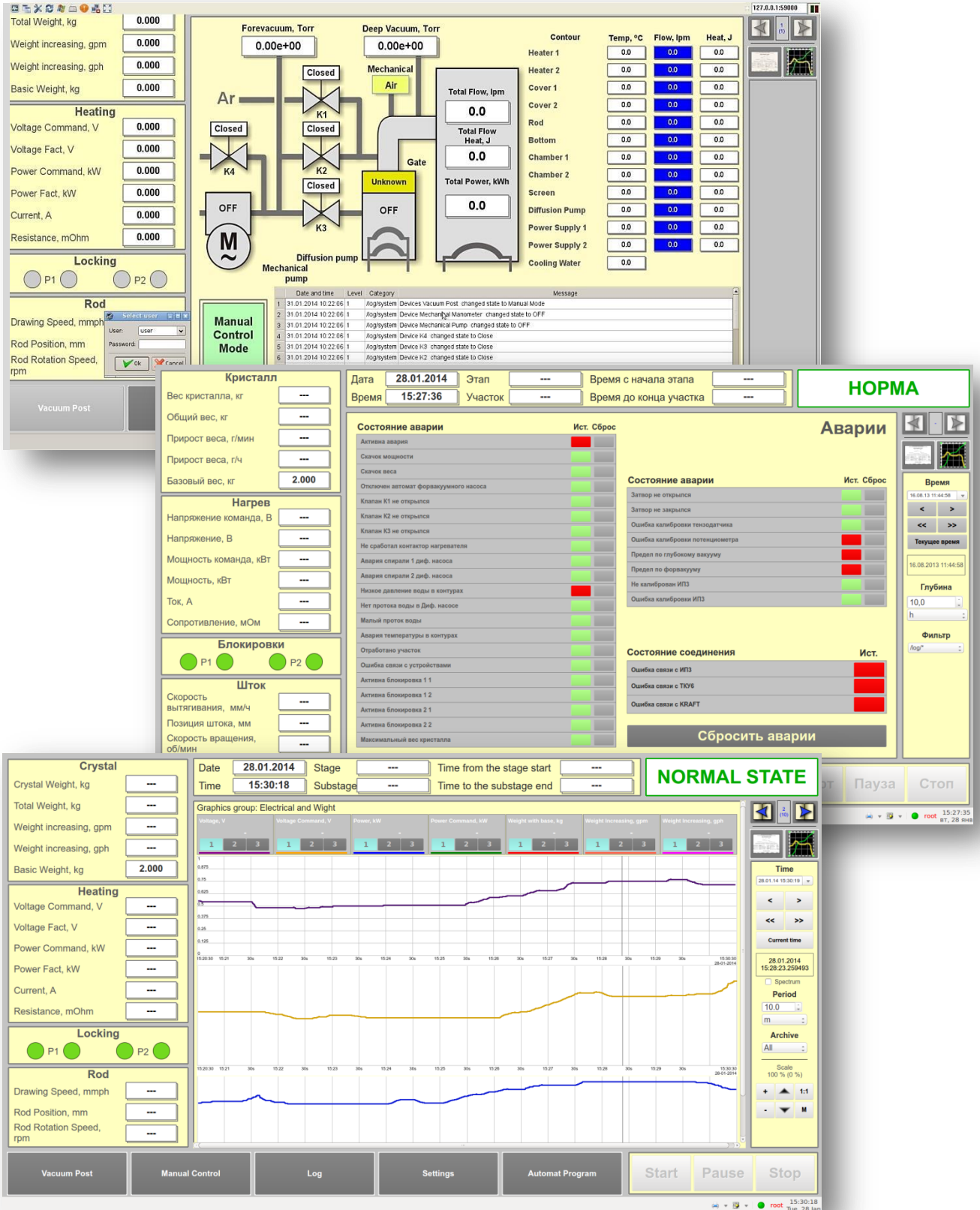


В качестве программного обеспечения управления технологическим процессом реализована SCADA-система на платформе ОС GNU/Linux.



Многооконный многоязычный интерфейс обеспечивает персонал полной информацией о технологическом процессе, состоянии устройств, удобное управление процессом, разграничение прав доступа и формирует все необходимые отчеты и графики.

Обеспечена возможность управления рецептами технологических процессов – загрузки из базы данных и автоматического сохранения текущих, предоставлен инструментариум просмотра и анализа данных.



РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРОЕКТЫ

Система управления установкой выращивания монокристаллов лейкосапфира методом Киропулоса «Промкристалл-С2»



Основные функции системы:

- ✓ управление вакуумным оборудованием и контроль его состояния;
- ✓ регистрация показаний вакуумметров;
- ✓ измерение с высокой точностью тока (0,5%), напряжения (0,2%) и мощности нагревателя вакуумной камеры (0,5%);
- ✓ управление и стабилизация напряжения и мощности нагревателя вакуумной камеры в соответствии с заданной программой с погрешностью не более 0,2%;
- ✓ управление приводами подъёма-опускания заправки с кристаллом;
- ✓ измерение веса кристалла с точностью до 1 гр;
- ✓ измерение температуры в 8-и контурах системы охлаждения;
- ✓ ведение базы данных измерений и протоколирование операций, как автоматических, так и выполненных персоналом;
- ✓ сигнализация, регистрация и обеспечение блокировок аварийных ситуаций;
- ✓ формирование визуальных и печатных отчётов о параметрах систем



UIS Krystal LTD

<http://www.uis-crystal.com>

Системы управления установкой выращивания монокристаллов лейкосапфира методом Киропулоса «Омега-М300» и «Омега-ПГ350»



Дополнительно реализованы функции:

- ✓ обеспечена возможность автоматического ведения процесса от включения, разогрева, роста кристалла до автоматического выключения по окончанию процесса, за исключением этапа заправки кристалла;
- ✓ обеспечен вывод на экран информации видеокамер, установленных в смотровых окнах;
- ✓ реализована возможность автоматического сохранения, коррекции и практического повторения технологических программ;
- ✓ применены измерители-регуляторы разработки «ИнноВиннпром» с более высокими техническими параметрами;
- ✓ увеличено количество точек измерения температуры, производится анализ отводимой теплоносителем мощности.



Pryroda LTD

<http://www.pryroda.org>

Система управления установкой выращивания монокристаллов лейкосапфира методом Киропулоса «Дельта-К»

Дополнительно реализованы функции:

- ✓ реализовано удаленное сетевое рабочее место оператора;
- ✓ обеспечена возможность автоматического ведения процесса от включения, разогрева, роста кристалла до автоматического выключения по окончанию процесса, за исключением этапа затравки кристалла;
- ✓ обеспечен вывод на экран информации видеокамер, установленных в смотровых окнах;
- ✓ реализована возможность автоматического сохранения, коррекции и практического повторения технологических программ;
- ✓ применены измерители-регуляторы разработки «ИнноВиннпром» с более высокими техническими параметрами оборудованные дисплеями, смонтированными на передней панели шкафа управления;
- ✓ реализована возможность управления мощностью нагревателя посредством потенциометра на передней панели шкафа управления на этапах обслуживания и тестирования;
- ✓ увеличено количество точек измерения температуры, производится анализ отводимой теплоносителем мощности.



Kvadrat-D LTD

<http://kvadrat-delta.com>

