



## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДИАМЕТРА СЛИТКА КРЕМНИЯ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ

Оксанич А.П., Притчин С.Э.,  
Институт экономики и новых технологий, г. Кременчуг

Слитки монокристаллического кремния являются основой твердотельной электроники и элементов солнечных батарей. В большинстве случаев слитки кремния получают методом Чохральского, суть которого заключается в вытягивании кристаллизующегося кремния из расплава, температура которого составляет 1420 °С, при этом расплав находящийся в тигле и слиток, подвешенный на гибком тросе, вращаются в противоположных направлениях. Диаметр слитка регулируется изменением скорости выращивания слитка и температурой расплава, определяемой температурой нагревателя.

В процессе выращивания слитков проходит три основные технологические стадии:

- стадия выращивания шейки, которая характеризуется поддержанием диаметра слитка равным  $4 \pm 1.5$  мм;
- стадия разращивания прямого конуса, которая характеризуется постепенным увеличением диаметра слитка до заданного размера согласно технологического регламента;
- стадия выращивания цилиндрической части слитка, в течение которой поддерживается заданный диаметр слитка.

Качество и выход годной продукции при производстве слитков кремния напрямую зависят от точности регулирования диаметра слитка в процессе его выращивания, и, как следствие, от точности контроля этого параметра. Контроль диаметра слитка представляет собой сложную задачу, обусловленную следующими факторами:

- изменяющаяся геометрия кристалла на различных технологических стадиях его роста;
- изменяющаяся яркость зоны кристаллизации в течение процесса выращивания слитка;
- процесс проводится при высоких температурах и низком давлении в атмосфере аргона;
- прецессия зоны кристаллизации слитка по расплаву, обусловленная гибкой подвеской;
- в горизонтальном сечении слиток представляет собой неправильный многоугольник, близкий к эллипсу, причем разница между осями может достигать 3 мм.

В настоящее время существуют различные способы измерения и поддержания диаметра при выращивании слитков монокристаллического кремния по методу Чохральского. Наиболее известными являются методы определения диаметра путем измерения веса слитка с последующим вычислением диаметра, метод поддержания диаметра при помощи электронно-оптического датчика и метод определения диаметра при помощи ПЗС линейки.

Метод определения диаметра измерением веса слитка не позволяет учитывать величину большей и малой оси горизонтального сечения слитка, также этот метод не позволяет с достаточной точностью контролировать диа-

аметра при помощи электронно-оптического датчика обеспечивает удержание заданного диаметра цилиндрической части слитка. Однако он не позволяет регулировать процесс выращивания слитка на стадиях роста шейки и разращивания прямого конуса, не позволяет учитывать величину большой и малой оси слитков, дает погрешность поддержания диаметра из-за прецессии слитка по расплаву.

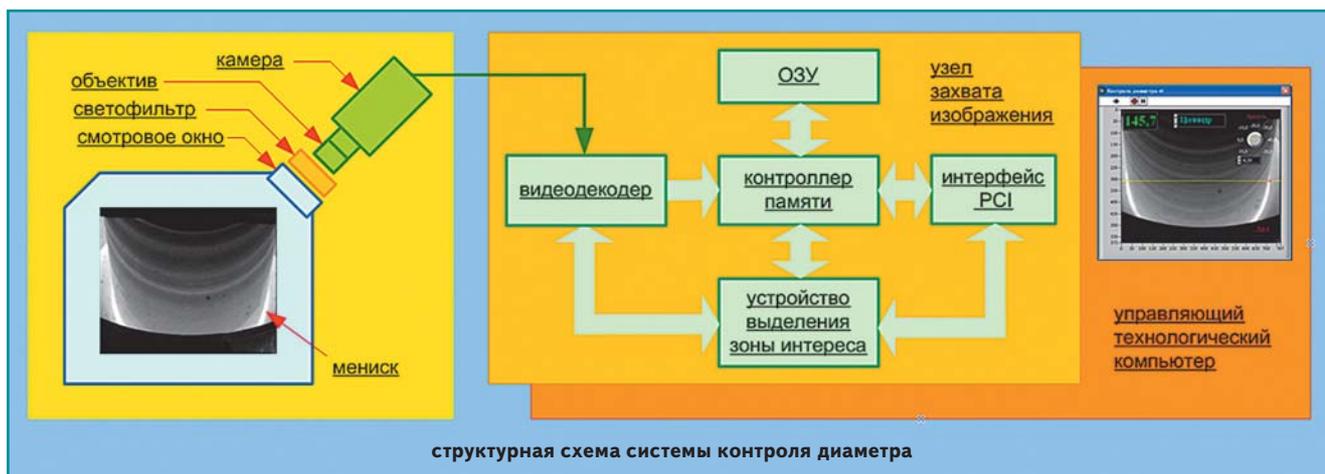
Метод определения диаметра слитка при помощи ПЗС линейки позволяет измерять диаметр на разных стадиях процесса, различать малые и большие оси слитка, однако дает погрешность измерения из-за прецессии зоны кристаллизации по расплаву.

Авторами разработана и внедрена в эксплуатацию система измерения диаметра слитка кремния в процессе выращивания, базирующаяся на телевизионном методе. Данный метод измерения диаметра растущего слитка свободен от вышеперечисленных недостатков. Его суть заключается в том, что информация о диаметре получается из анализа видеозображения. Видеозображение текущего процесса роста слитка из телекамеры вводится в компьютер, а затем при помощи алгоритмов распознавания изображения получается информация о диаметре слитка и параметрах мениска. Применение данного метода за счет обработки всей видимой области процесса позволяет:

- измерять диаметр на всех стадиях технологического процесса, в том числе и на стадиях выращивания шейки, разращивания прямого конуса (что позволяет их автоматизировать);
- исключить влияние прецессии слитка на точность измерения диаметра (что позволяет повысить точность измерения диаметра);
- различать малые и большие оси слитка (что позволяет уменьшить расход сырья за счет регулирования процесса выращивания по малой оси слитка).

Метод поддержания ди-





Структура системы контроля диаметра телевизионным методом содержит оптический датчик со светофильтром, объектив, ПЗС видеокамеру, узел захвата видеоизображения, и управляющий технологический компьютер со специализированным ПО.

Система работает следующим образом. При росте слитка на границе слиток-расплав образуется мениск. Изображение слитка, расплава и мениска через смотровое окно, светофильтр и объектив поступает в установленную на ростовой установке ПЗС видеокамеру. Сформированный видеосигнал поступает на видеodeкодер и преобразуется в цифровую форму с привязкой к яркости. Оцифрованный видеосигнал в цифровом виде поступает на устройство выделения зоны интереса, в котором происходит выделение части видеокadra, содержащей полезную информацию. Преобразованный видеосигнал поступает в оперативную память, управляемую контроллером памяти и, по мере за-

роса, через шинный интерфейс поступает в память управляющего технологического компьютера. Последний производит распознавание изображения и определяет следующие параметры:

- диаметру слитка кремния;
- ширину мениска.

Введенный в систему светофильтр улучшает контрастность видеоизображения, позволяет улучшить отношение сигнал-шум и повысить точность измерения параметров.

Точность определения диаметра этим методом зависит от технических характеристик видеооптической системы, включающей в себя видеокамеру с объективом, устройство оцифровки видеосигнала, определяющих качество получаемого видеоизображения.

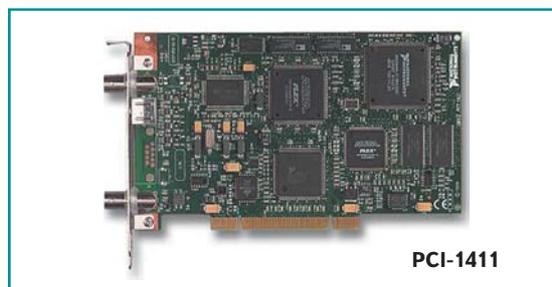
В качестве видеооптической системы была выбрана монохромная видеокамера LTC0350/11 (Philips), обеспечивающая разрешение 752 x 582 пикселя, с установленным объективом LTC3371/20, имеющим изменяемое фокусное расстояние 5 ÷ 20 мм.

Характеристики платы ввода телевизионного сигнала определяют возможность ввода видеоизображения в данном формате и вид передаваемой в компьютер информации. Например, широко распространенные платы ввода телевизионного сигнала представляют информацию в мультимедийных форматах (avi, и т.п.). Такой вид информации плохо подходит к задачам измере-

ния линейных размеров, так как приходится применять операции захвата кадра, преобразования получаемых графических форматов и т.д. Все это в свою очередь влияет на точность определения размеров и быстродействие всей системы.

Для решения данной задачи были применены аппаратные и программные средства фирмы National Instruments (США) серии IMAQ: плата ввода и обработки промышленной видеоинформации PCI-1411 с программным драйвером NI-IMAQ.

В основу концепции построения IMAQ входит использование графического программирования, возмож-



<b>входной формат</b>	RS-170/NTSC, 30 кадр/с
	CCIR/PAL, 25 кадр/с
<b>выходной формат</b>	RGB, 32-бит
	HSL, 32-бит
	R, G, B, H, S, or L, 8-бит
<b>входной диапазон (уровень белого)</b>	700 мВ (калибруемый)
	400 мВ.. 1.00 В
<b>динамический диапазон</b>	46 dB
<b>частотный диапазон</b>	12 МГц (-3 dB)
<b>глубина пикселя</b>	32 бит
<b>объем ОЗУ</b>	16 МБ
<b>глубина пикселя</b>	32 бит
<b>скорость передачи данных по шине PCI</b>	100 МБайт/с
<b>питание</b>	+5 В /1 А, +12 В/ 75 мА

ность реализации отдельных программных модулей в одной среде разработки и новый подход к работе с изображением, позволяющий получать изображение хорошего качества без использования камер высокого разрешения. Программное обеспечение NI-IMAQ содержит полный набор драйверов и утилит для Windows 95/98/NT, обеспечивая доступ ко всем аппаратным функциям из сред LabVIEW, LabWindows/CVI, ComponentWorks, а также из доступных широкому кругу пользователей языков программирования. Прикладное программное обеспечение IMAQ Vision содержит более 400 функций обработки и анализа изображений для решения специфических задач с минимальными затратами времени.

Например, IMAQ Vision Builder позволяет производить операции сглаживания, улучшения изображения, порогового разделения и выделения кромок, морфологический анализ, фильтрацию и др.

Сглаживание производится с использованием методов пространственной области с помощью усреднения в окрестности. Улучшение можно выполнить как в ручном режиме, так и методом гистограммного выравнивания.

Пороговое разделение осуществляется в зависимости от распределения интенсивности в спектре. Можно выделять границы областей с одинаковой интенсивностью на улучшенном изображении или после проведения морфологического анализа и наложения фильтров на изображение.

В морфологический анализ входит разбиение на сегменты, выделение и заполнение областей с измененной интенсивностью в сегментах, проведение морфологических трансформаций и другие операции. Фильтры применяются для лучшего проведения контуров и определения границ. В них используются работа с градиентом, метод Лапласа и Гаусса, сглаживание. Выделив в изображении объекты, можно получить их геометрические параметры (площадь, положение, центр масс и т.д.), контур в виде массива координат пикселей, проводить их отбор по интересующим критериям.

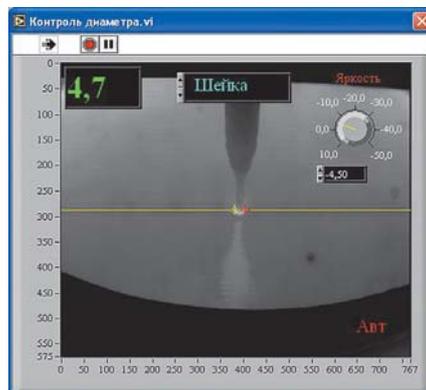
Количественный анализ позволяет определить расстояние от одной границы до другой по произвольной линии, угол наклона границы относительно прямой.

Используемая в разработанной системе плата PCI-1411 обладает высо-

кой гибкостью в управлении преобразованием монохромных и цветных изображений с использованием обмена информацией по шине PCI, которая поддерживает широкую номенклатуру аналоговых камер. PCI-1411 захватывает изображения в реальном времени и может сохранять эти изображения в расположенной на плате памяти, или передавать эти изображения непосредственно в системную память. Драйвер NI-IMAQ имеет обширную библиотеку функций для настройки видеорежима, распределения буферов памяти, управления вызовами подпрограмм и конфигурирования самой платы. NI-IMAQ обеспечивает несколько различных способов захвата изображений:

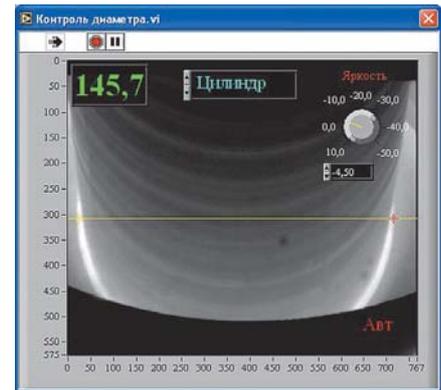
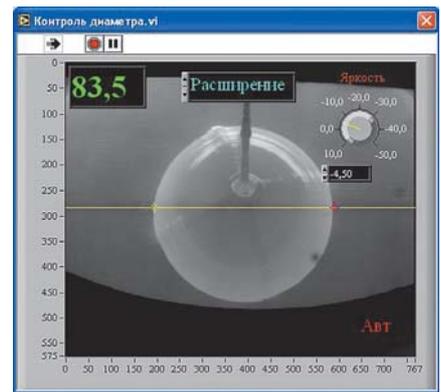
- моментальный снимок - в буфере памяти фиксируется весь или часть одиночного кадра;
- захват - непрерывное сканирование кадров изображения в единственном буфере памяти;
- кольцевой захват - непрерывное сканирование кадров изображения в несколько буферов памяти, которое автоматически запускается заново, когда все буферы заполнены;
- последовательность - программируемый захват с возможностью произвольной выборки (например, из 10 снятых кадров можно захватить в память 2, 5, 9, 10 кадры).

Программная часть системы реализована в среде графического программирования LabVIEW, что позволило существенно сократить сроки разработки и внедрения. Виртуальный инструмент разработан для режимов измерения шейки, конуса и цилиндра.



Смонтированная на ростовой установке "Редмет30" в ДП "Завод "Чистые металлы", г. Светловодск, система контроля диаметра обеспечивает следующие технические параметры:

- точность контроля диаметра



слитка на этапах выращивания шейки, конуса или цилиндрической части  $\pm 1$  мм;

- диапазон контролируемого диаметра (без изменения фокусного расстояния объектива) 3 : 200 мм;
- коррекция изменения прозрачности смотрового окна;
- определение линии сканирования;
- определение диаметра слитка по малой и большой оси, а также среднего значения.

Полученные в процессе разработки и внедрения системы контроля технические и программные решения позволяют строить на ее базе различные системы контроля геометрических объектов телевизионным методом, в частности, контроля диаметра стальных прутков в процессе производства, а также системы дефектоскопии и отбраковки изделий по внешнему виду на основе сравнения с эталонным образцом.

**Авторы выражают признательность сотрудникам фирмы "ХОЛИТ Дэйта Системс" за оказанную консультационную и информационную поддержку.**



## КОНТАКТЫ:

т. (05366)-31-144

e-mail: oksanich@cat-ua.com

pritchinn@yandex.ru