

**Особенности формирования изображения зоны  
кристаллообразования в высокотемпературном методе Чохральского**

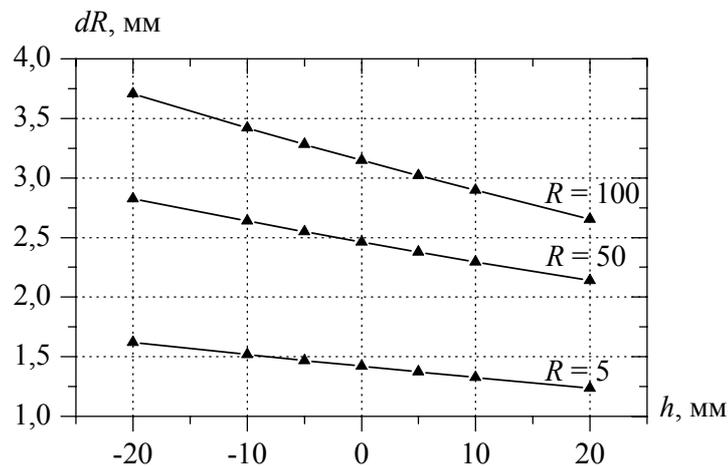
**Specific features of crystallization zone image formation  
in the high-temperature Czochralski method**

*Автор: Михляев С.В.*

*Author: Mikhlyayev S.V.*

Методами численного моделирования показано, что причиной появления тонкой структуры в изображении зоны кристаллообразования в высокотемпературном методе Чохральского являются многократные отражения излучения нагревателя от поверхностей расплава и кристалла. Установлено, что параллакс изображения мениска является источником погрешностей измерений диаметра кристалла и проявляется при вариациях уровня расплава и диаметра кристалла, смещениях оси кристалла, изменениях геометрии ростовой установки и схемы измерения. Показано, что погрешности измерения диаметра кристалла кремния, обусловленные смещениями его оси в диапазоне  $\pm 20$  мм, могут составлять доли миллиметра, а погрешности, вызванные вариациями уровня расплава, могут достигать единиц миллиметров при радиусе кристалла 100 мм (рис. 1.6). Предложены методы компенсации обусловленного параллаксом погрешностей измерений. Результаты могут быть использованы при отработке технологии выращивания кристаллов из высокотемпературного расплава и создании систем технического зрения для современных автоматических ростовых установок.

It is shown by numerical modeling that the fine structure in the crystallization zone image in the high-temperature Czochralski method appears as a result of multiple reflections of radiation of the heater from the melt and crystal surfaces. The parallax of the meniscus image is found to be a source of errors in crystal diameter measurements and to be initiated by variations of the melt level and crystal diameter, changes in the crystal axis position, and modifications of the growing system geometry and the measurement scheme. It is shown that the measurement errors of the silicon crystal diameter due to displacements of the crystal axis over the range  $\pm 20$  mm can be fractions of a millimeter, and the errors due to variations of the melt level can reach several millimeters with the crystal radius of 100 mm (Fig. 1.6). Methods to compensate for the measurement errors induced by the parallax are proposed. Results can be used for adjustment of the technological process of crystal growing from a high-temperature melt and for development of vision systems for modern automatic crystal pulling apparatus.



**Рис. 1.6.** Погрешности определения радиуса монокристалла кремния  $dR$ , обусловленные параллаксом изображения зоны кристаллообразования, в зависимости от уровня расплава  $h$  для  $R = 5, 50, 100$  мм при угле роста кристалла  $79^\circ$

**Fig. 1.6.** Measurement error  $dR$  of the silicon single crystal radius caused by the parallax of the crystallization zone image as a function of the melt level  $h$  for  $R = 5, 50, 100$  mm at a  $79^\circ$  angle of crystal growth

#### Публикации:

#### Publications:

1. Михляев С.В. Аппроксимация окружности при измерении диаметра кристалла // Вычислительные технологии, 2007, т. 12, № 1. С. 61–71.
2. Михляев С.В. Оценка параллакса изображения мениска выращиваемого кристалла // Оптический журнал, 2008, т. 75, № 1. С. 66–70.
3. Михляев С.В., Потатуркин О.И. Информационные характеристики изображения зоны кристаллообразования в методе Чохральского // Автометрия, 2008, т. 44, № 6. С. 35–48.
4. Михляев С.В. Системы технического зрения для контроля геометрии выращиваемого кристалла // VIII Международная конференция «Прикладная оптика–2008» (Санкт-Петербург, Россия, 20–24 октября 2008). Сборник трудов, т. 1. С. 62–66.