

УДК 004.932

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИКИ РОСТА КРИСТАЛЛА

И. М. ОЛЬХОВСКАЯ

(Представлено: канд. физ.-мат. наук, доцент С.А.ВАБИЩЕВИЧ)

*Рассмотрены вопросы использования компьютерного зрения для обработки изображений и видео, полученных при изучении скорости роста кристаллов из раствора соли. Результаты могут быть использованы при проведении физических экспериментов, связанных с использованием микроскопа для автоматизации определения характеристик объекта с помощью камеры.*

**Введение.** Твердое тело – агрегатное состояние вещества, которое характеризуется стабильностью формы и характером теплового движения атомов, которые совершают малые колебания около положения равновесия. Все твердые тела подразделяют на кристаллические и аморфные твердые тела. Отличительной особенностью кристаллов является пространственная периодичность в расположении равновесных положений атомов. В аморфных телах атомы колеблются вокруг хаотически расположенных точек [1].

Кристаллы можно получить различными способами, например, охлаждением жидкости. При охлаждении в жидкой фазе возникает множество центров кристаллизации, вокруг которых происходит образование твердой фазы. Возникает множество мелких кристаллов, которые при соединении друг с другом образуют поликристаллическое тело. Поликристаллы *изотропны*, т. е. их свойства одинаковы по всем направлениям [2]. Диски из поликристаллического алмаза в основном используются для высокоточной резки жидкокристаллического стекла в электронной промышленности.

Поликристаллы состоят из множества монокристаллов, которые образуются при медленной скорости кристаллизации. Примерами огранённых природных монокристаллов могут служить монокристаллы кварца, каменной соли, исландского шпата, алмаза, топаза. Большое промышленное значение имеют монокристаллы полупроводниковых и диэлектрических материалов, выращиваемые в специальных условиях [2].

**Целью работы** является рассмотрение применения компьютерного зрения для определения характеристик кристаллов соли, в момент начала роста.

**Физическое описание роста кристалла.** Если скорость роста кристалла определяется как количество вещества  $\frac{dm}{dt}$ , осажденного на грани в единицу времени, а линейная скорость  $v_{лин}$  – это скорость, измеренная по перпендикуляру к грани, с которой грань передвигается параллельно самой себе в окружающем ее растворе, то скорости можно связать следующим соотношением

$$\frac{dm}{dt} = Fv_{лин} \quad (1)$$

где  $F$  – площадь грани.

Встройка частиц в грани происходит неравномерно, поэтому для процесса встройки справедливо уравнение

$$\frac{dm}{dt} = Fv_{лин} = \alpha F(C^{hkl} - C_0) \quad (2)$$

где  $C_0$  – концентрация насыщения раствора,  $C^{hkl}$  – концентрация раствора у растущей грани  $hkl$ , числа  $h, k, l$  – индексы плоскости,  $\alpha$  – коэффициент, неодинаковый для различных граней.

Перейдя к положению правой и левой граней по шкале окуляра микроскопа и приняв во внимание, что величина вычисленной из квадратов отклонений различных отклонений скоростей от среднего, равно 0,014, мы получим выражения для линейной скорости:

$$v_{лин} = 0,014(n_i - n_{i-1}) / t \text{ мм/с} \quad (3)$$

где  $n_i - n_{i-1}$  – разность между делениями шкалы в предыдущем и последующем отсчетах [3].

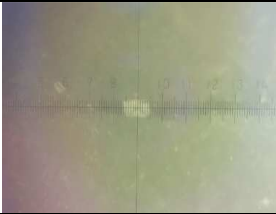





**Обработка видео-результатов.** Инструментом обработки видео был выбран язык Python, а основной библиотекой стала библиотека OpenCV.

Разобьём все видео (длительность 10 минут) на отрезки по 2 минуты. На каждой ключевой точке будем производить определение положения правой и левой границы, выбранного нами кристалла, а также будем рассчитывать линейную скорость роста на данном интервале.

Видео представляет собой набор кадров, обработка которых будет вестись последовательно на протяжении всего времени. По отдельности каждый кадр обрабатывается следующим образом [4]: сначала изображение переводим в черно-белое, после чего убираем лишние шумы, выделяем контуры объектов на изображении. Так как на окуляре есть разлиновка, то находим центр координат и относительно его начинаем поиск кристалла: ищем координаты центров кристалла, так как в объектив могло попасть несколько, после чего оставляем один исследуемый кристалл, находящийся ближе всего к центру, далее находим количество делений справа и слева относительно центра. Когда мы произвели все замеры по формуле (3) находим линейную скорость роста.

Результаты обработки приведены в таблице и на рисунке, где  $r^l$  – длина кристалла по оси Oх слева относительно центра координат окуляра,  $v_{\text{мин}}^l$  – скорость роста кристалла влево,  $r^p$  – длина кристалла по оси Oх справа относительно центра координат окуляра,  $v_{\text{мин}}^p$  – скорость роста кристалла вправо.

Таблица. – Изменение значений линейной скорости роста кристалла

t, мин	$r^l$ , дел	$v_{\text{мин}}^l$ , мм/с	$r^p$ , дел	$v_{\text{мин}}^p$ , мм/с	изображение
0	6	-	5	-	
2	8	$2,3 \cdot 10^{-4}$	7	$2,3 \cdot 10^{-4}$	
4	9	$1,2 \cdot 10^{-4}$	8	$1,2 \cdot 10^{-4}$	
6	11	$2,3 \cdot 10^{-4}$	9	$1,2 \cdot 10^{-4}$	
8	12	$1,2 \cdot 10^{-4}$	11	$1,2 \cdot 10^{-4}$	
10	13	$1,2 \cdot 10^{-4}$	12	$1,2 \cdot 10^{-4}$	

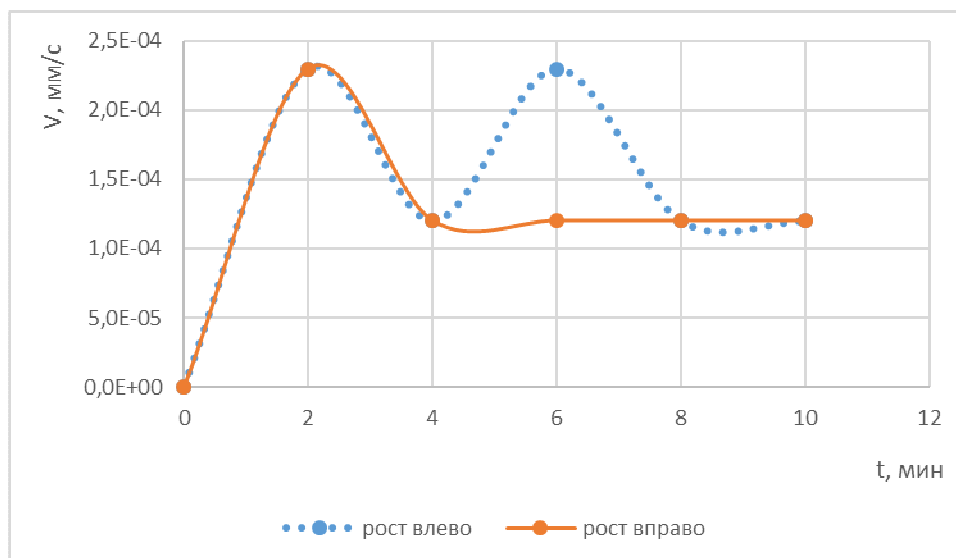


Рисунок. – Зависимость линейной скорости роста кристалла от времени для двух направлений

**Вывод.** Процесс выращивания кристаллов с заданными физическими свойствами и характеристиками требует систематического контроля на всех этапах промышленного производства. Компьютерное зрение может стать дополнительным методом неразрушающего контроля в технологических процессах выращивания материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шиманский, В. И. Основы физики твердого тела/ В. И. Шиманский, Е. П. Туромша, Н. Н. Кольчевский: учеб.-метод. пособие/Минск : БГУ, 2021/ Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/275926> - Дата доступа: 10.10.2024.
2. Прохоров, А.М. Поликристалл / Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
3. Дубский, Г.А. Методика определения линейной скорости роста кристалла при кристаллизации алюминия в магнитном поле / Г.А. Дубский, Л.Г. Егорова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2017. – Т.5. – №2. – С. 19-24.
4. Ольховская, И.М. Создание «универсального» алгоритма с использованием компьютерного зрения для выявления дефектов в различных сферах /И. М. Ольховская, Д.Э.Атрохов, С.А.Вабищевич// Физика в учреждениях образования: научные, методические и прикладные аспекты: материалы Республиканской научно-методической конференции, Брест, 12–13 октября 2023 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т; под общ. ред. Т.Л.Кушнер. – Брест: БрГТУ, 2023. – С.155-157.