

# Распределение примесей в процессе выращивания мультикристаллического кремния

Выполнила: Клушина Надежда,  
студентка физического факультета, группа 1411  
Научный руководитель: Непомнящих А.И., профессор, д.ф.-м.н,  
Соруководитель: Пресняков Р.В., научный сотрудник, к.ф.-м.н.,

лаборатория «Физика монокристаллов»

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

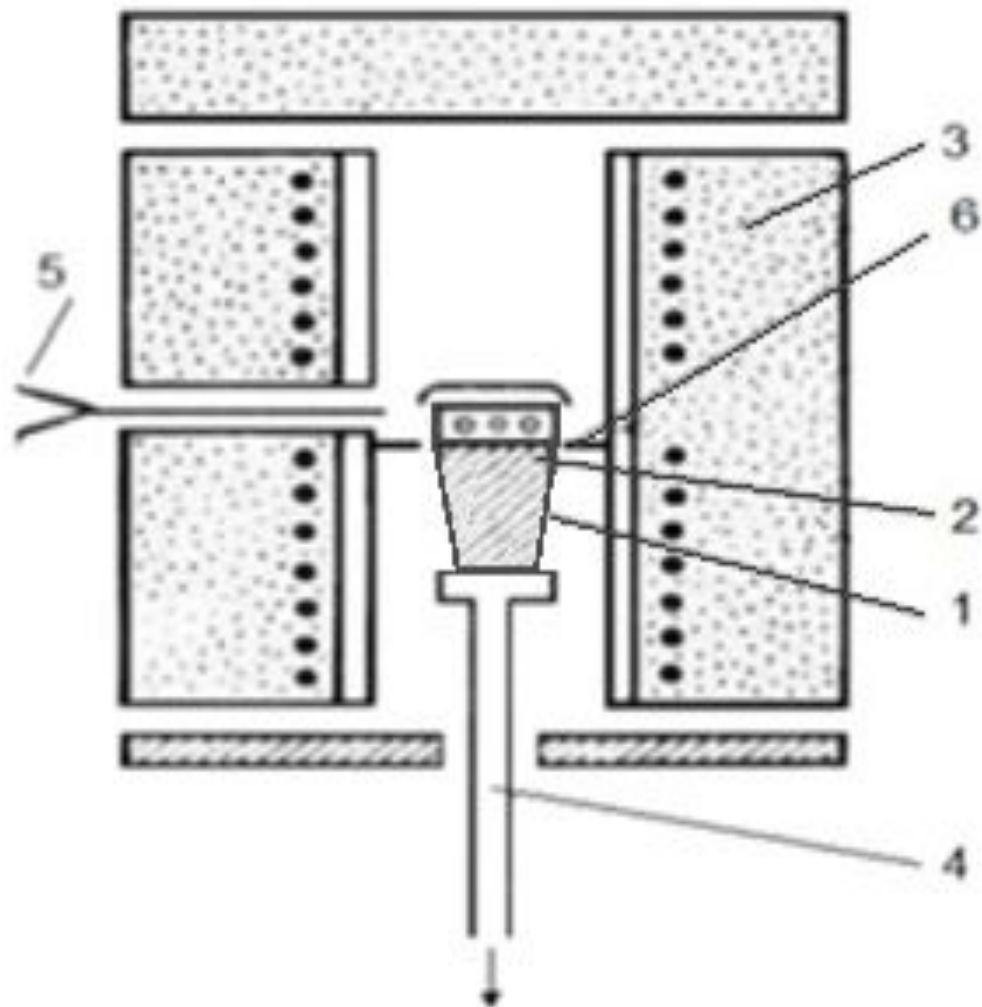


# Актуальность моей работы

Бурный наземной рост солнечной энергетики требует создания новых мощностей по производству кремния и альтернативных технологий его получения. Основным фактором, сдерживающим рост солнечной энергетики, является цена полупроводникового кремния. С этой точки зрения наиболее перспективным является рафинированный металлургический кремний (UMG-Si) с долей основного вещества от 99,9 ат.% до 99,999 ат.%.



слитки мультикристаллического кремния,  
выращенные из рафинированного металлургического  
кремния  
методом направленной кристаллизации Бриджмена-



# Задачи исследования:

## Цели работы:

Освоение теоретического анализа экспериментальных профилей распределения примесей, основанного на приближении полного конвективно-диффузионного перемешивания расплава.

## Задачи исследования:

Установление характера и исследование причин распределения примесей в слитках мультикристаллического кремния.



# Теоретический анализ

Уравнение Пфанна:

$$C = C_0 k (1 - f)^{k-1}$$

Эффективный коэффициент распределения примеси

$$k = \frac{k_0}{k_0 + (1 - k_0) e^{-\left(\frac{V\delta}{D}\right)}}$$

Отношение критсаглизации характеризующие режим направленной

$$V\delta/D$$



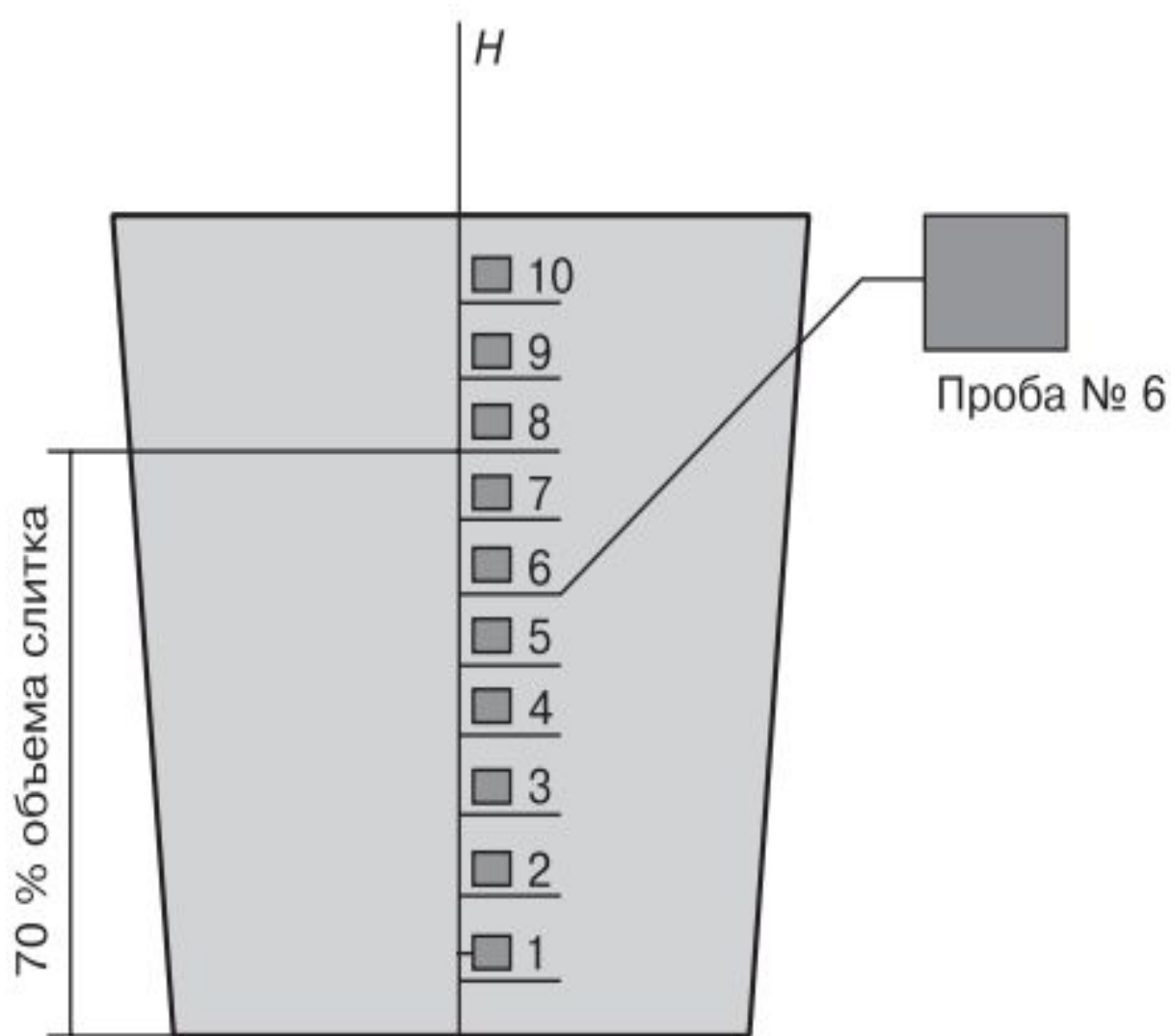
## Таблица.1.Условия выращивания mc-Si

	mc-Si из Mg-Si	mc-Si из экспериментальных загрузок кремния
Масса загрузки Si	0,54 кг	1 кг
Градиент температуры, $G$	2000 $^{\circ}\text{K}/\text{м}$	500 $^{\circ}\text{K}/\text{м}$
Скорость выращивания, $V$	$5 \cdot 10^{-7}$ м/с	$1,39 \cdot 10^{-7}$ м/с
Вращение тигля	без вращения	1/300 об/сек
Длина / диаметр слитка	0,11 м / 0,034 м	0,1 м / 0,07 м
Фронт кристаллизации	вогнутый	плоский

Таблицы.2 Содержание основных элементов в исходных загрузках для выращивания mc-Si (в ppmw или  $10^{-4}$  масс.%) и их предельная растворимость

Элемент	<u>Fe</u>	<u>Ni</u>	V	Ge	<u>Mn</u>	<u>Co</u>
MG-Si	2850	90	15	-	58	-
№1	850±195	37±7	60±12	1±0,32	35±7,4	70±8,4
№2	7,82±2,7	0,29±0,08	0,3±0,09	0,01±0,003	0,06±0,019	0,17±0,03
№3	7,06±2,4	0,26±0,07	0,66±0,19	0,02±0,006	0,12±0,038	0,44±0,08
№4	3,49±1,19	0,21±0,06	0,22±0,06	0,01±0,003	0,05±0,016	0,15±0,027
C <sub>s</sub>	0,3	4,2	0,18	<u>неогр.</u>	0,29	0,76

# Рисунок.2 Схематичное изображение диаметрального разреза слитка $m\text{-Si}$ , Н-высота слитка



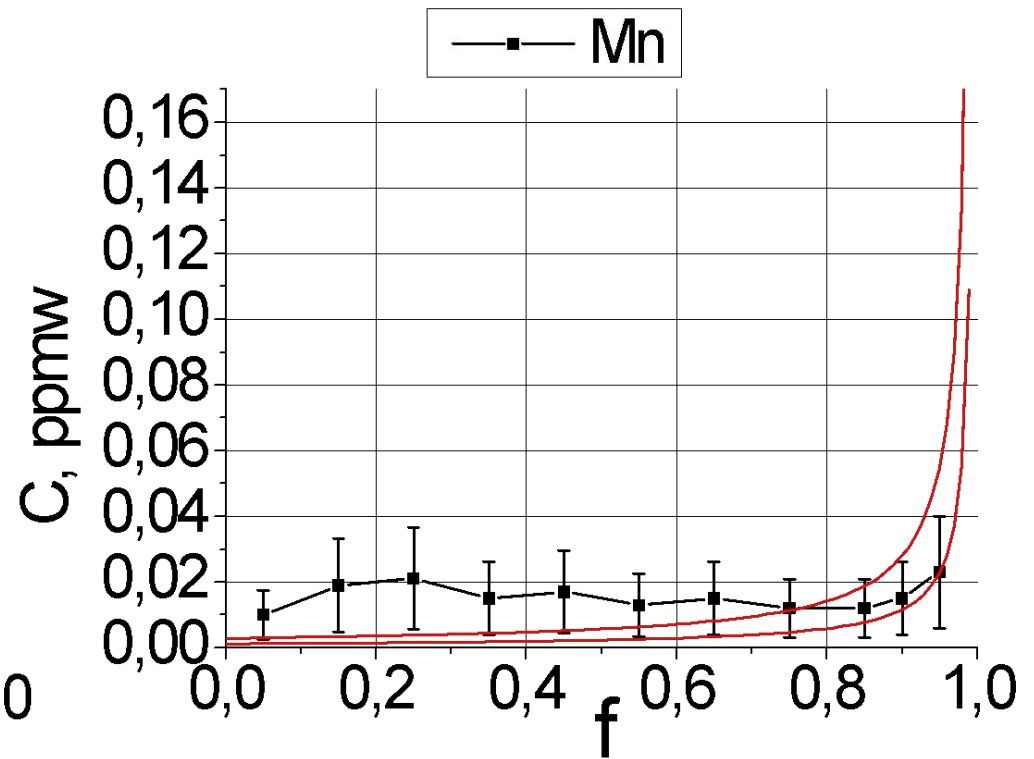
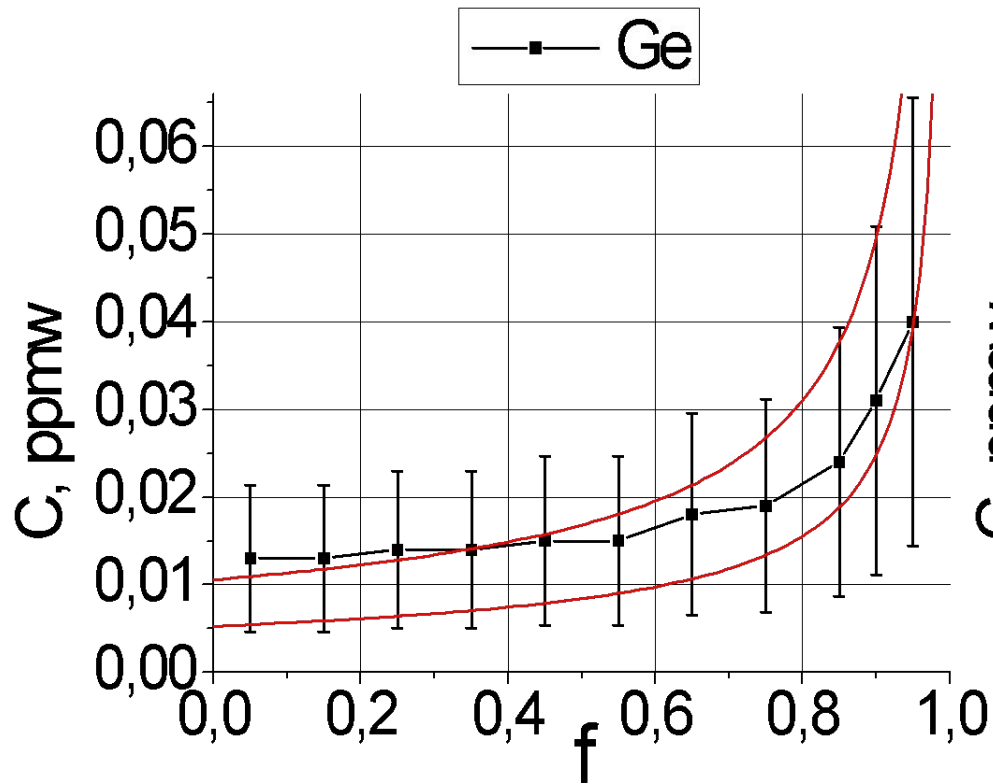


## Таблица.3 Результаты послойного элементного анализа слоёв mc-Si методом ИСП-МС для исходной загрузки mc-Si №3

слои	V	Mn	Fe	Co	Ni	Ge
1-1					0,000001	
1-2			0,000003		0,000001	
1-3			0,000003		0,000001	
1-4					0,000001	
1-5			0,000003		0,000001	
1-6			0,000003		0,000001	
1-7			0,000003		0,000001	
1-8			0,000003		0,000001	
1-9			0,000003		0,000001	
1-10			0,000003		0,000001	
1-11					0,000001	



График.1 Распределение примесей Ge, Mn,  
(в ppmw или  $10^{-4}$  масс.%) по высоте слитка mc-Si  
на основе загрузки №3



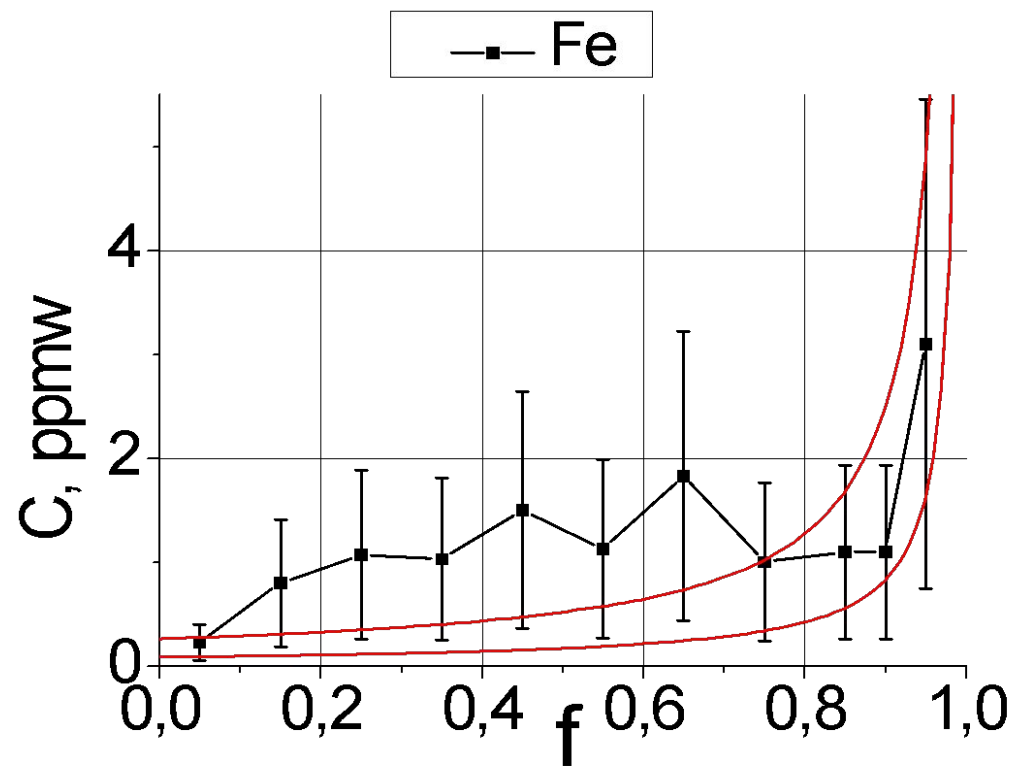
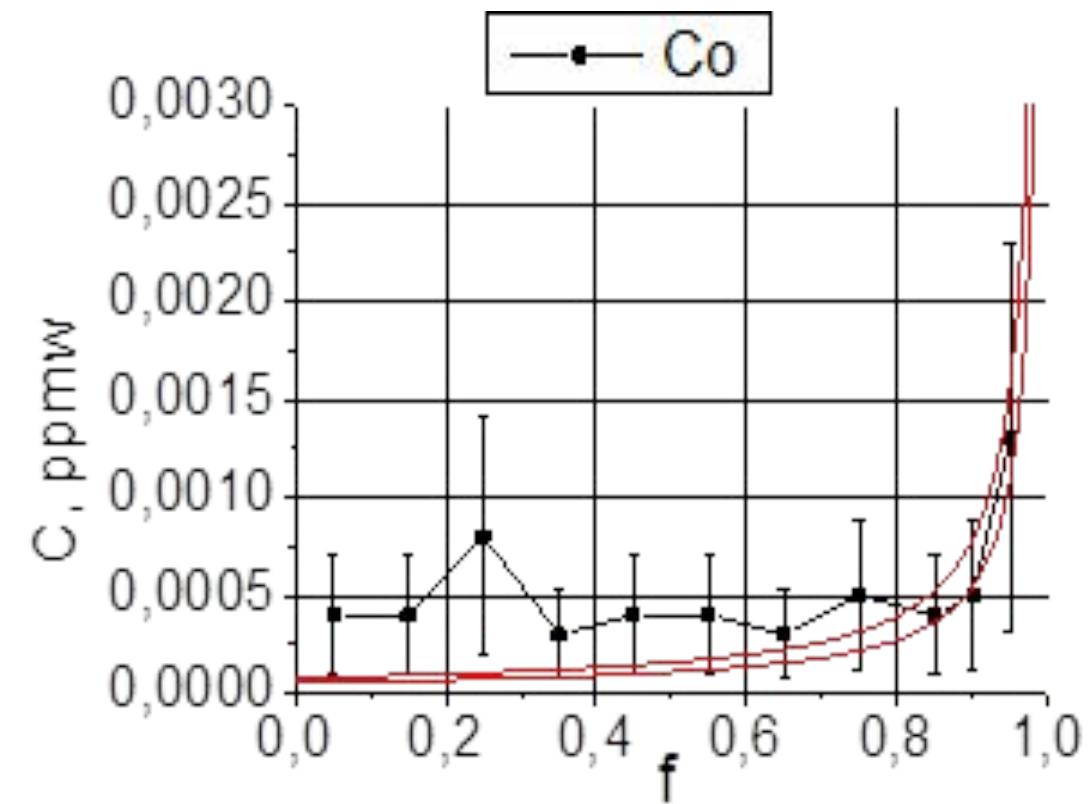


График.3 Распределение примесей Ni, V  
 (в ppmw или  $10^{-4}$  масс.%) по высоте слитка mc-Si  
 на основе загрузки №3

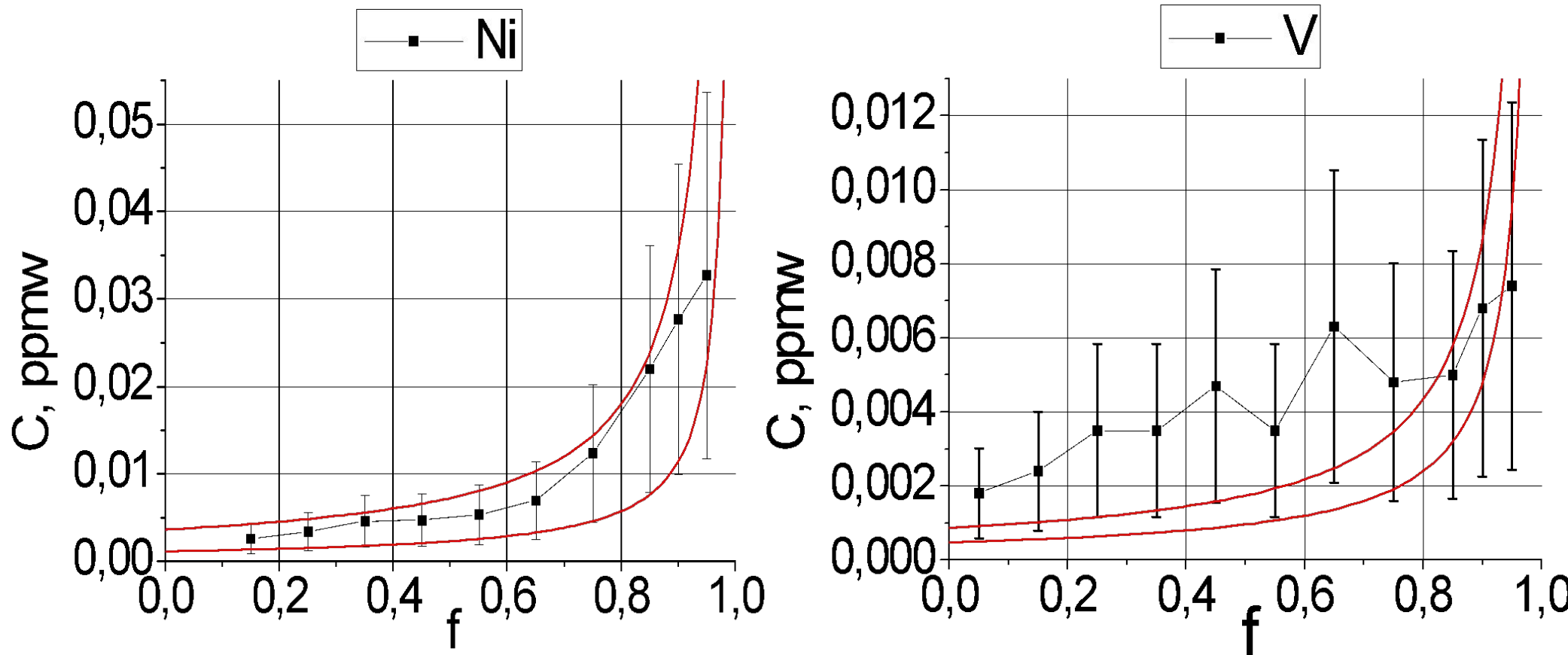


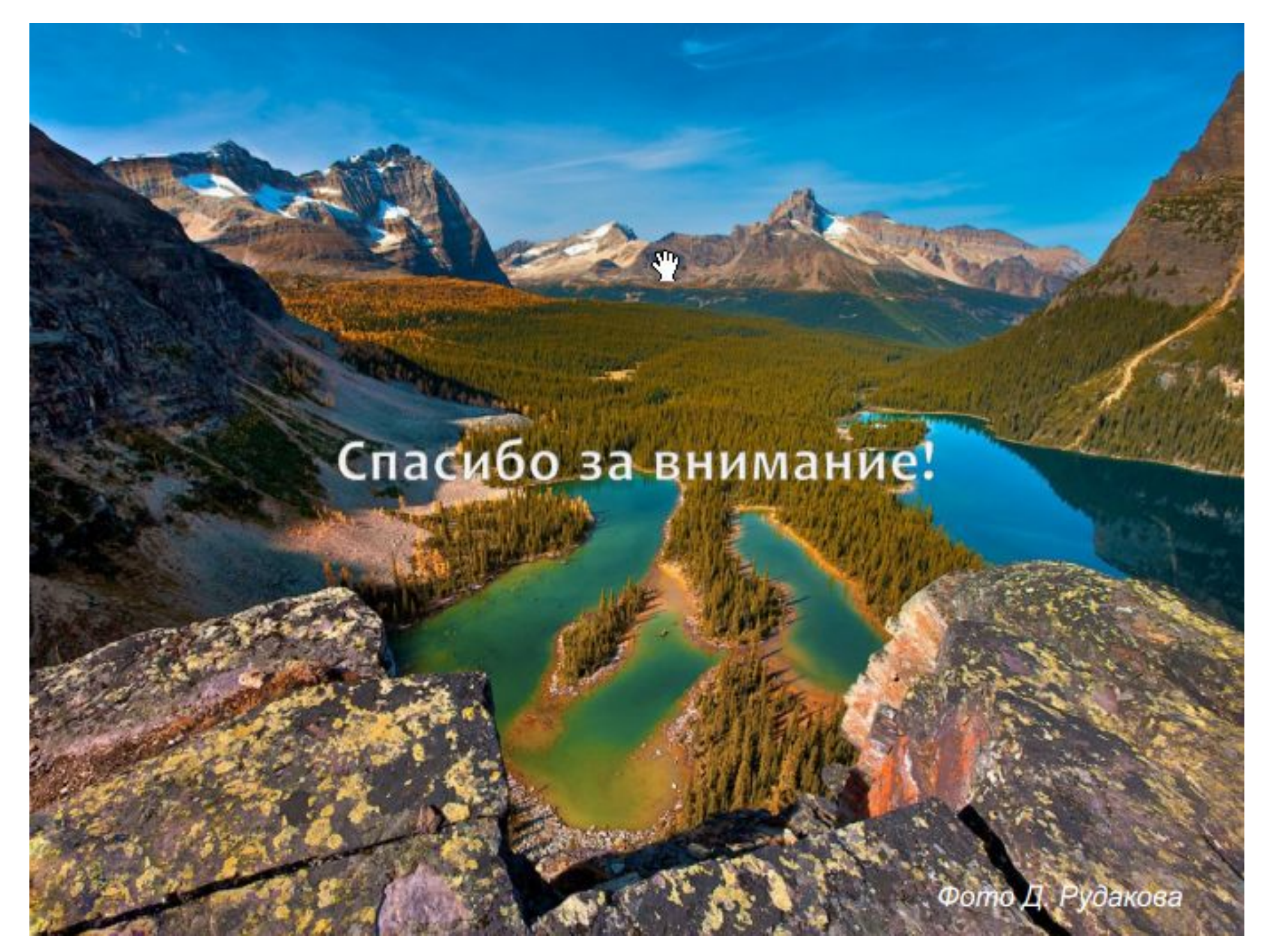
Таблица.4 Эффективные коэффициенты распределения примесей при выращивании mc-Si из MG-Si и mc-Si на основе загрузок №1-4

	Fe	Ni	V	Ge	Mn	Co
mc-Si из MG-Si	0,0004	0,0015	-	-	0,002	-
mc-Si из загрузки №1	0,002	0,006	0,00004	0,33	0,001	0,00001
mc-Si из загрузки №2	0,025	0,012	0,002	0,33	0,03	0,0005
mc-Si из загрузки №3	0,03	0,015	0,0012	0,33	0,017	0,0002
mc-Si из загрузки №4	0,05	0,02	0,003	0,33	0,035	0,0006

# Заключение

Установлен характер распределения примесей в слитках мультикристаллического кремния, показывающий, что при направленной кристаллизации имеет место как конвективный, так и диффузионный перенос вещества.





Спасибо за внимание!

Фото Д. Рудакова