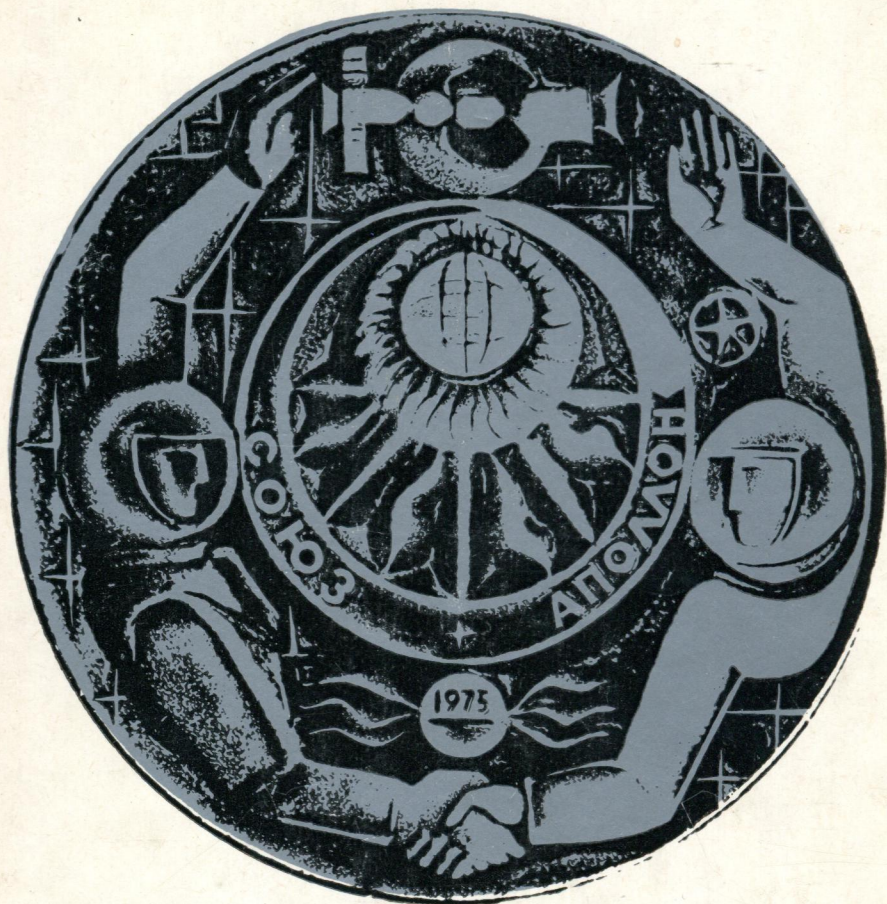


АКАДЕМИЯ НАУК СССР



**ПЛАВЛЕНИЕ,  
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ  
И ФАЗООБРАЗОВАНИЕ  
В НЕВЕСОМОСТИ**

КХ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Институт металлургии им. А. А. Байкова

# ПЛАВЛЕНИЕ, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В НЕВЕСОМОСТИ

*Эксперимент „Универсальная печь”  
по программе „Союз” – „Аполлон”*



Издательство «Наука»

Москва 1979

**Плавнение, кристаллизация и фазообразование в невесомости.**  
М.: Наука, 1979. 256 с.

Рассмотрены вопросы, связанные с проведением технологических экспериментов в космосе с целью комплексного изучения закономерностей поведения металлических и полупроводниковых расплавов в условиях невесомости. Центральное место отведено результатам исследований, выполненных в рамках советско-американского эксперимента по программе «Союз» — «Аполлон». Изучены особенности некоторых кипетических процессов в условиях малых гравитаций космического полета, а также перспективы использования этих условий для получения материалов с особыми свойствами.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся проблемами космической технологии, а также может быть полезна студентам технических вузов.

Табл. 40, ил. 86, список лит. 185 назв.

Авторы:

Л. И. ИВАНОВ, В. С. ЗЕМСКОВ, В. Н. КУБАСОВ,  
В. Н. ПИМЕНОВ, И. Н. БЕЛОКУРОВА, К. П. ГУРОВ,  
Е. В. ДЕМИНА, А. Н. ТИТКОВ, И. Л. ШУЛЬПИНА

Ответственный редактор  
академик Н. Н. РЫКАЛИН

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Часть первая	
<b>МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</b>	
Глава первая	
<b>Общие сведения о фазообразовании . . . . .</b>	10
1.1. Процессы в твердом состоянии . . . . .	10
1.2. Краткая характеристика процессов затвердевания . . . . .	17
1.3. Некоторые представления о взаимодействии твердого и жидкого металлов . . . . .	20
1.4. Экспериментальные данные о диффузионном взаимодействии твердого и жидкого металлов . . . . .	36
Глава вторая	
<b>Исследование металлических систем в космосе . . . . .</b>	53
2.1. Цели и задачи космических исследований . . . . .	53
2.2. Установка «Универсальная печь» для технологических экспериментов . . . . .	55
2.3. Результаты исследования свойств металлических систем после экспериментов в условиях невесомости . . . . .	67
2.4. Методика подготовки эксперимента по программе «Союз» — «Аполлон» . . . . .	84
Глава третья	
<b>Плавление и кристаллизация металлических образцов в невесомости. Эксперимент «Союз» — «Аполлон» . . . . .</b>	88
3.1. Исследование композиционного материала . . . . .	88
3.2. Взаимодействие расплавленного Al с W . . . . .	94
3.3. Фазообразование при контакте жидкого Al со сплавом W—Re . . . . .	102
3.4. Плавление сплава системы Cu—Al . . . . .	111
3.5. Эксперимент с порошком Al . . . . .	115



## Глава четвертая

<b>Некоторые закономерности взаимодействия твердых металлов с жидкими в условиях невесомости</b> . . . . .	119
4.1. Поведение газовых включений в жидком металлическом растворе	119
4.2. Формообразование слитков композиционного материала в процессе кристаллизации . . . . .	122
4.3. Фазообразование при твердо-жидком диффузионном взаимодействии . . . . .	125
4.4. Об использовании особенностей фазообразования для получения композиционных материалов . . . . .	130
Литература . . . . .	134

## Часть вторая

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## Глава пятая

<b>Общие представления о нормальной направленной кристаллизации полупроводниковых материалов</b> . . . . .	140
--	-----

## Глава шестая

<b>Обзор результатов, полученных американскими специалистами по программам «Скайлэб» и «Союз» — «Аполлон»</b> . . . . .	154
6.1. Кристаллизация Ge, легированного различными компонентами . . . . .	154
6.2. Кристаллизация JnSb . . . . .	161
6.3. Бесконтейнерная кристаллизация антимонида индия . . . . .	164
6.4. Кристаллизация твердых растворов соединений A <sup>III</sup> B <sup>V</sup> . . . . .	167
6.5. Кристаллизация из газовой фазы . . . . .	170

## Глава седьмая

<b>Выращивание кристаллов твердого раствора Ge—Si—Sb на космическом комплексе станции «Союз» — «Аполлон» и на Земле</b> . . . . .	177
7.1. Температурный режим опытов . . . . .	177
7.2. Исходные заготовки твердых растворов . . . . .	179
7.3. Конструкция ампулы . . . . .	181
7.4. Характеристики сил и ускорений, действовавших на печь с ампулами в космических и земных опытах . . . . .	182
7.5. Методы исследования кристаллов . . . . .	186

---

Глава восьмая	
<b>Основные результаты экспериментов по кристаллизации твердых растворов Ge—Si—Sb</b> . . . . .	194
8.1. Распределение компонентов в кристаллах . . . . .	196
8.2. Исследование кристаллической структуры . . . . .	206
8.3. Электронно-микроскопическое исследование кристаллов твердого раствора Ge—Si—Sb . . . . .	219
8.4. Результаты дополнительных имитационных экспериментов на Земле . . . . .	228
8.5. Механизм несимметричного распределения компонентов в поперечных сечениях кристаллов . . . . .	234
<b>Литература</b> . . . . .	243
<b>Заключение</b> . . . . .	246