

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**ТЕМПЕРАТУРНА СТІЙКІСТЬ  
ПЕРЕОХОЛОДЖЕНОЇ РІДКОЇ ФАЗИ  
В КОНДЕНСОВАНИХ ПЛІВКАХ**

Монографія

Харків – 2019

УДК [536.42+532.64]:539.216.2

Т 32

**Рецензенти:**

**С. І. Тарапов** – член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, зав. відділом радіоспектроскопії Інституту радіофізики і електроніки імені О. Я. Усикова НАН України;

**В. М. Береснев** – доктор технічних наук, професор кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій фізико-технічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

*Затверджено до друку рішенням Вченої ради  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна  
(протокол № 7 від 24 червня 2019 року)*

**Температурна** стійкість переохолодженої рідкої фази в конденсованих плівках : монографія / С. В. Дукаров, С. І. Петрушенко, С. І. Богатиренко, В. М. Сухов. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – 212 с.

**ISBN 978-966-285-601-9**

У монографії узагальнюються дослідження температурних меж існування переохолодженої рідкої фази компонентів нанодисперсних структур. Запропоновано оригінальні *in situ* методики дослідження переохолоджень під час кристалізації в нанодисперсних системах. Наведено результати багаторічних досліджень особливостей кристалізації частинок, які знаходяться на різних підкладках, або у складі шаруватих плівкових систем. Виявлено вплив взаємодії на межі розплав-підкладка (матриця), а також умов препарування зразків на величини граничних переохолоджень.

УДК [536.42+532.64]:539.216.2

**Temperature** stability of the supercooled liquid phase in condensed films : monograph / S. V. Dukarov, S. I. Petrushenko, S. I. Bogatyrenko, V. M. Sukhov. – Kharkiv : V. N. Karazin Kharkiv National University, 2019. – 212 p.

The monograph summarizes the studies of the temperature limits for the existence of a supercooled liquid phase of the components of nanodisperse structures. Original *in situ* methods for studying supercooling during crystallization in nanodispersed systems are proposed. The results of long-term studies of the features of crystallization of particles on different substrates, or as part of layered film systems are presented. The influence of the interaction at the melt-substrate (matrix) interface, as well as the conditions of preparation of the samples on the values of the limiting supercooling.

ISBN 978-966-285-601-9

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2019

© Дукаров С. В., Петрушенко С. І.,

Богатиренко С. І., Сухов В. М., 2019

© Дончик І. М., макет обкладинки, 2019

## ЗМІСТ

Вступ .....	5
Розділ 1. Переохолодження під час кристалізації вільних частинок і острівцевих плівок .....	13
1.1. Гомогенна та гетерогенна кристалізація .....	13
1.2. Використання методу мікрооб'ємів для вивчення переохолодження при кристалізації металів.....	21
1.3. Переохолодження при формуванні острівцевих вакуумних конденсатів .....	27
1.3.1. Метод зміни механізму конденсації.....	27
1.3.2. Вплив залишкових газів на переохолодження.....	32
1.3.3. Граничне переохолодження під час кристалізації металів.....	36
1.3.4. Розмірний ефект під час кристалізації малих частинок ..	43
1.3.5. Переохолодження під час кристалізації неорганічних сполук.....	51
1.4. Кварцовий резонатор як <i>in situ</i> метод визначення меж стабільності рідкої фази у системі «плівка – підкладка».....	55
Розділ 2. Переохолодження у шаруватих плівкових системах .....	67
2.1. Особливості фазових переходів у нанокompозитних матеріалах.....	67
2.2. Фазові переходи «рідина – кристал» у багатошарових плівках.....	75
2.3. Фізичні причини стрибків електричного опору в шаруватих плівкових системах.....	127
Розділ 3. Переохолодження під час кристалізації сплавів у конденсованих плівках .....	133
3.1. Фазові переходи в частинках бінарних сплавів, впроваджених у більш тугоплавку матрицю.....	133
3.2. Метод зміни механізму конденсації в дослідженнях переохолодження сплавів.....	140
3.3. Використання методу кварцового резонатора для реєстрації переохолодження під час кристалізації сплавів .....	147
3.4. Переохолодження під час кристалізації сплавів у шаруватих плівкових структурах.....	163
Висновки .....	182
Extended abstract .....	185
Література .....	195

## TABLE OF CONTENTS

Introduction .....	5
Chapter 1. Supercooling during crystallization of free particles and island films .....	13
1.1. Homogeneous and heterogeneous crystallization.....	13
1.2. Application of the method of microvolumes for the study of supercooling during the crystallization of metals .....	21
1.3. Supercooling during the formation of island vacuum condensates .	27
1.3.1. The method of changing of the condensation mechanism ....	27
1.3.2. Residual gases effect on supercooling .....	32
1.3.3. Limiting supercooling during the crystallization of metals ....	36
1.3.4. Size effect during the crystallization of small particles.....	43
1.3.5. Supercooling during the crystallization of inorganic compounds.....	51
1.4. Quartz resonator as an <i>in situ</i> method for determining the stability limits of the liquid phase in a film – substrate system .....	55
Chapter 2. Supercooling in layered film systems.....	67
2.1. Particularities of phase transitions in nanocomposite materials.....	67
2.2. Liquid-crystal phase transitions in multilayered films .....	75
2.3. Physical causes of electrical resistance jumps in layered film systems .....	127
Chapter 3. Supercooling during the crystallization of alloys in condensed films .....	133
3.1. Phase transitions in particles of binary alloys embedded in a more refractory matrix.....	133
3.2. The method of changing of the condensation mechanism in studies of supercooling of alloys .....	140
3.3. Application of the quartz resonator method for measuring of the supercooling during alloy crystallization .....	147
3.4. Supercooling during crystallization of alloys in layered film structures .....	163
Conclusion .....	182
Extended abstract .....	185
References .....	195