

А. Г. МОРАЧЕВСКИЙ    А. И. ДЕМИДОВ

# ТЕРМОДИНАМИКА СПЛАВОВ ЛИТИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПОДГРУППЫ УГЛЕРОДА (C, Si, Ge, Sn, Pb)

The image shows a periodic table of elements. The elements in the carbon group (C, Si, Ge, Sn, Pb) are highlighted in red. The table is organized into four main sections: the top row (H, He), the first two rows (Li-Be, Na-Mg), the main body (K-Ca, Sc-Ti, V-Cr, Mn-Fe, Co-Ni, Cu-Zn, Ga, Al-Si, P-S, S-Cl, Ar), and the bottom section (Fr-Ra, Ac-Rf, Db-Sg, Bh-Hs, Mt, Uun-Uuu, Uub, Ce-Pr, Nd-Pm, Sm-Eu, Gd-Tb, Dy-Ho, Er-Tm, Yb-Lu, Th-Pa, U-Np, Pu-Am, Cm-Bk, Cf-Es, Fm-Md, No-Lr).

1 H		2 He																	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Санкт-Петербург  
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации  
—  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

*А. Г. Морачевский А. И. Демидов*

ТЕРМОДИНАМИКА  
СПЛАВОВ ЛИТИЯ  
С ЭЛЕМЕНТАМИ  
ПОДГРУППЫ УГЛЕРОДА  
(C, Si, Ge, Sn, Pb)

Под редакцией доктора технических наук, профессора  
А. А. Поповича



Санкт-Петербург  
2016

ББК 24.53

М79

*Морачевский А. Г. Термодинамика сплавов лития с элементами подгруппы углерода (C, Si, Ge, Sn, Pb) / А. Г. Морачевский, А. И. Демидов; под ред. А. А. Поповича. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 151 с.*

Начиная с конца XX века опубликовано большое число работ, направленных на повышение энергетических характеристик литий-ионных аккумуляторов. В качестве материала отрицательного электрода предлагается использовать элементы подгруппы углерода – кремний, германий, олово, соединения и сплавы на их основе, композиты этих элементов с углеродом. Одновременно возник интерес к другому классу источников тока – жидкометаллическим аккумуляторам с участием лития, расплавленного электролита, сплавов тяжелых металлов свинца, сурьмы и других. В связи с этим в предлагаемой монографии суммированы и анализируются фазовые диаграммы и термодинамические свойства сплавов лития с элементами подгруппы углерода.

Книга содержит обширный материал справочного характера и может быть полезна инженерам, аспирантам, научным работникам, занимающимся изучением и оптимизацией источников тока различных классов.

ISBN 978-5-7422-5451-5

© Морачевский А. Г., Демидов А. И., 2016  
© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТИЯ.....	13
2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ IVA ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	19
2.1. Углерод .....	19
2.2. Кремний .....	28
2.3. Германий .....	33
2.4. Олово .....	36
2.5. Свинец .....	39
3. ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ И ТЕРМОДИНАМИ- ЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ЛИТИЯ С ЭЛЕМЕНТА- МИ IVA ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....	44
3.1. Система литий – углерод .....	44
3.2. Система литий – кремний .....	51
3.3. Система литий – германий .....	65
3.4. Система литий – олово .....	71
3.5. Система литий – свинец .....	88
4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ IVA (14-ой) ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ И ДРУГИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭНЕРГИИ .....	104
4.1. Литий-ионные аккумуляторы.....	104
4.2. Тепловые химические источники тока с расплав- ленным электролитом .....	120
4.3. Жидкометаллические химические источники тока с расплавленным электролитом.....	130
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	133