

“十一五”国家重点图书出版规划项目

中国有色金属丛书

相图及图谱  
系列

# 二元合金相图 及中间相晶体结构

BINARY ALLOY PHASE DIAGRAMS AND  
CRYSTAL STRUCTURE OF  
INTERMEDIATE PHASE

中国有色金属工业协会 组织编写

唐仁政 田荣璋 编

# PHASE DIAGRAMS



“十一五”国家重点图书出版规划项目  
中国有色金属丛书

中国有色金属工业协会 组织编写

相图及图谱系列

# 二元合金相图 及中间相晶体结构

唐仁政 田荣璋 编

BINARY ALLOY PHASE DIAGRAMS AND  
CRYSTAL STRUCTURE OF  
INTERMEDIATE PHASE



中南大学出版社  
www.csupress.com.cn

---

图书在版编目(CIP)数据

二元合金相图及中间相晶体结构/唐仁政,田荣璋编. —长沙:中南大学出版社,2009.4

ISBN 978-7-81105-831-4

I. 二... II. ①唐... ②田... III. ①二元合金-相图②二元合金-中间相变-晶体结构 IV. TG113.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 065416 号

---

二元合金相图及中间相晶体结构

唐仁政 田荣璋 编

---

责任编辑 赵慕岳

责任印制 汤庶平

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

印 装 湖南省地质测绘印刷厂

---

开 本 787 × 1092 1/16 印张 98.5 字数 2448 千字

版 次 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-81105-831-4

定 价 320.00 元

---

图书出现印装问题,请与出版社调换

## 内 容 简 介

本书是根据近期出版的二元合金相图中外文资料,经过仔细校核、加工汇编而成,反映了目前二元相图研究的最新成果。本书在汇编过程中发现和修正了原有文献中存在的内容和排印错误数百处,其中包括两类概念性问题。

全书共分两篇,第一篇遴选了 2197 个二元系共 2232 幅相图,所有相图都经过重新描绘和规范化处理。第二篇收集了 1876 个二元系中间相的晶体结构参数(包括相成分、点阵类型、泊松符号、空间群、结构标记、晶格参数、典型范例),数据齐全。每篇的开始都简单介绍了相关的基本概念。本书是目前最新最完整的二元相图集之一,是冶金及材料科学与工程领域的科研人员、高校师生以及企业等相关单位科技工作者的重要参考书。

# 总序

有色金属是重要的基础原材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济建设和社会发展等方面发挥了不可或缺的作用。

改革开放以来，特别是新世纪以来，我国有色金属工业持续快速发展，已成为世界最大的有色金属生产国和消费国，产业整体实力显著增强，在国际同行业中的影响力日益提高。主要表现在：总产量和消费量持续快速增长，2008年，十种有色金属总产量2520万吨，连续七年居世界第一，其中铜产量和消费量分别占世界的20%和24%；电解铝、铅、锌产量和消费量均占世界总量的30%以上。经济效益大幅提高，2008年，规模以上企业实现销售收入预计2.1万亿以上，实现利润预计800亿元以上。产业结构优化升级步伐加快，2005年已全部淘汰了落后的自焙铝电解槽；目前，铜、铅、锌先进冶炼技术产能占总产能的85%以上；铜、铝加工能力有较大改善。自主创新能力显著增强，自主研发的具有自主知识产权的350 kA、400 kA大型预焙电解槽技术处于世界铝工业先进水平，并已输出到国外；高精度内螺纹铜管、高档铝合金建筑型材及时速350 km高速列车用铝材不仅满足了国内需求，已大量出口到发达国家和地区。国内矿山新一轮找矿和境外矿产资源开发取得了突破性进展，现有9大矿区的边部和深部找矿成效显著，一批有实力的大型企业集团在海外资源开发和收购重组境外矿山企业方面迈出了实质性步伐，有效增强了矿产资源的保障能力。

2008年9月份以来，我国有色金属工业受到了国际金融危机的严重冲击，产品价格暴跌，市场需求萎缩，生产增幅大幅回落，企业利润急剧下降，部分行业已出现亏损。纵观整体形势，我国有色金属工业仍处在重要机遇期，挑战和机遇并存，长期发展向好的趋势没有改变。今后一个时期，我国有色金属工业发展以控制总量、淘汰落后、技术改造、企业重组、充分利用境内外两种资源，提高资

源保障能力为重点，推动产业结构调整和优化升级，促进有色金属工业可持续发展。

实现有色金属工业持续发展，必须依靠科技进步，关键在人才。为了提高劳动者素质，培养一大批高水平的科技创新人才和高技能的技术工人，由中国有色金属工业协会牵头，组织中南大学出版社及有关企业、科研院校数百名有经验的专家学者、工程技术人员，编写了《中国有色金属丛书》。《丛书》内容丰富，专业齐全，科学系统，实用性强，是一套好教材，也可作为企业管理人员和相关专业大学生的参考书。经过编写、编辑、出版人员的艰辛努力，《丛书》即将陆续与广大读者见面。相信它一定会为培养我国有色金属行业高素质人才，提高科技水平，实现产业振兴发挥积极作用。

A stylized calligraphic signature in black ink, consisting of two large characters, '康' and '勇', written in a fluid, expressive style.

2009年3月

## 中国有色金属丛书编委会人员名单

- 主 任:** 康 义 中国有色金属工业协会
- 常务副主任:** 黄伯云 中南大学
- 副 主 任:**
- |     |                |
|-----|----------------|
| 熊维平 | 中国铝业公司         |
| 李永军 | 金川集团有限公司       |
| 李贻煌 | 江西铜业集团公司       |
| 韦江宏 | 铜陵有色金属集团控股有限公司 |
| 何仁春 | 湖南有色金属控股集团有限公司 |
| 毛小兵 | 西部矿业股份有限公司     |
| 黄 河 | 青铜峡铝业集团有限公司    |
| 屠海令 | 北京有色金属研究总院     |
| 张水鉴 | 中金岭南有色金属股份有限公司 |
| 雷 毅 | 云南锡业集团有限公司     |
| 张学信 | 在平信华集团有限公司     |
| 宋作文 | 山东南山集团公司       |
| 董 英 | 云南冶金集团总公司      |
| 王京彬 | 有色金属矿产地质调查中心   |
| 尚福山 | 中国有色金属工业协会     |
| 文献军 | 中国有色金属工业协会     |
- 委 员(以姓氏笔划排序):**
- |     |                  |
|-----|------------------|
| 马达卡 | 中铝山西分公司          |
| 马宝平 | 中国有色金属工业协会铝业分会   |
| 马世光 | 中国有色金属工业协会加工工业分会 |
| 王吉位 | 中国有色金属工业协会再生金属分会 |
| 王华俊 | 中国有色金属工业协会       |
| 王海东 | 中南大学出版社          |
| 王向东 | 中国有色金属工业协会钛锆铅分会  |
| 王树琪 | 中条山有色金属集团有限公司    |
| 乐维宁 | 中铝国际沈阳铝镁设计研究院    |
| 许 健 | 葫芦岛有色金属集团有限公司    |
| 刘兴亮 | 中铝山东分公司          |

刘继军	在平华信铝业有限公司
刘同高	厦门钨业集团有限公司
刘柏禄	赣州有色冶金研究所
刘良先	中国钨业协会
吴跃武	洛阳有色金属加工设计研究院
吴锈钢	中国有色金属工业协会镁业分会
宋玉芳	江西钨业集团有限公司
汪汉臣	宝钛集团有限公司
邱冠周	中南大学
陈成秀	厦门厦顺铝箔有限公司
李旺兴	中铝郑州研究院
李沛兴	白银有色金属股份有限公司
李 宁	兰州铝业股份有限公司
李阳通	柳州华锡集团有限责任公司
张洪国	中国有色金属工业协会
张创奇	宁夏东方有色金属集团有限公司
张洪恩	河南中孚实业股份有限公司
张培良	山东丛林集团有限公司
张 麟	大冶有色金属有限公司
陆志方	中国有色工程有限公司
周 江	东北轻合金有限责任公司
杨龄益	锡矿山闪星锑业有限责任公司
杨 超	云南铜业(集团)有限公司
杨安国	河南豫光金铅集团有限责任公司
杨文浩	甘肃稀土集团有限责任公司
赵 波	中国有色金属工业协会
赵翠青	中国有色金属工业协会
赵世庆	西南铝业(集团)有限责任公司
胥 力	遵义钛厂
胡长平	中国有色金属工业协会
段玉贤	洛阳栾川钼业集团有限责任公司
钟卫佳	中铝洛阳铜业有限公司
钟晓云	江西稀有稀土金属钨业集团公司
黄粮成	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
黄晓平	陕西有色金属控股集团有限责任公司
蒋开喜	北京矿冶研究总院
傅少武	株洲冶炼集团有限责任公司
瞿向东	中铝广西分公司



## 中国有色金属丛书学术委员会人员名单

**主 任:** 王淀佐 院士 北京有色金属研究总院

**常务副主任:** 黄伯云 院士 中南大学

**副 主 任 (按姓氏笔划排序):**

于润沧	院士	中国有色工程有限公司
左铁镛	院士	北京工业大学
孙传尧	院士	北京矿冶研究院
古德生	院士	中南大学
刘业翔	院士	中南大学
李东英	院士	北京有色金属研究总院
何继善	院士	中南大学
何季麟	院士	宁夏东方有色金属集团有限公司
汪旭光	院士	北京矿冶研究院
邱定番	院士	北京矿冶研究院
张国成	院士	北京有色金属研究总院
张文海	院士	南昌有色冶金设计研究院
金展鹏	院士	中南大学
周 廉	院士	西北有色金属研究院
陈 景	院士	昆明贵金属研究所
钟 掘	院士	中南大学
黄培云	院士	中南大学
曾苏民	院士	西南铝加工厂
戴永年	院士	昆明理工大学

**委 员 (按姓氏笔划排序):**

卜长海	厦门厦顺铝箔有限公司
于家华	遵义钛厂
马保平	金堆城钼业集团有限公司
王 辉	株洲冶炼集团有限责任公司
王 斌	洛阳栾川钼业集团有限责任公司
王林生	赣州有色冶金研究所
尹晓辉	西南铝业(集团)有限责任公司
邓吉牛	西部矿业股份有限公司
吕新宇	东北轻合金有限责任公司

- |     |                  |
|-----|------------------|
| 任必军 | 伊川电力集团           |
| 许新强 | 中条山有色金属集团有限公司    |
| 刘江浩 | 江西铜业集团公司         |
| 刘劲波 | 洛阳有色金属加工设计研究院    |
| 刘昌俊 | 中铝山东分公司          |
| 刘保伟 | 中铝广西分公司          |
| 刘祥民 | 中铝股份有限公司         |
| 刘偵德 | 中金岭南有色金属股份有限公司   |
| 刘海石 | 山东南山集团有限公司       |
| 吴连成 | 青铜峡铝业集团有限公司      |
| 苏家宏 | 柳州华锡集团有限责任公司     |
| 邵 武 | 铜陵有色金属(集团)公司     |
| 沈南山 | 云南铜业(集团)公司       |
| 李尚勇 | 金川集团有限公司         |
| 李宏磊 | 中铝洛阳铜业有限公司       |
| 李桂生 | 江西稀有稀土金属钨业集团公司   |
| 李金鹏 | 中铝国际沈阳铝镁设计研究院    |
| 张占明 | 中铝山西分公司          |
| 张一宪 | 湖南有色金属控股集团有限公司   |
| 张晓国 | 河南豫光金铅集团有限责任公司   |
| 苗广礼 | 甘肃稀土集团有限责任公司     |
| 郑 菁 | 中铝国际贵阳铝镁设计研究院    |
| 周基校 | 江西钨业集团有限公司       |
| 赵庆云 | 中铝郑州研究院          |
| 战 凯 | 北京矿冶研究总院         |
| 俞德庆 | 云南冶金集团总公司        |
| 梁学民 | 河南中孚实业股份有限公司     |
| 钟景明 | 宁夏东方有色金属集团有限公司   |
| 高文翔 | 云南锡业集团有限责任公司     |
| 高 顺 | 宝钛集团有限公司         |
| 钱文连 | 厦门钨业集团有限公司       |
| 颜学柏 | 陕西有色金属控股集团有限责任公司 |
| 廖 明 | 白银有色金属股份有限公司     |
| 翟保金 | 大冶有色金属有限公司       |
| 熊柏青 | 北京有色金属研究总院       |
| 潘恒礼 | 葫芦岛有色金属集团有限公司    |
| 戴云俊 | 锡矿山闪星锑业有限责任公司    |

# 序

相图研究是材料科学的重要基础内容之一，与材料工程技术的发展密切相关。美国麻省理工学院的著名冶金学家 John F. Elliott 教授比喻，相图是冶金学家的地图，它为冶金学家在陌生的地方指引方向。因此，相图研究一直受到材料科学与工程领域工作者的高度重视。

随着科学技术的进步，新材料不断涌现，实际使用的工程材料大都是多元合金，并向非平衡态材料、梯度材料和复合材料等方向发展，计算多元相图的工作也在蓬勃发展。因此相图研究的内容也越来越广泛。尽管如此，二元相图始终是相图研究和应用的基础，二元相图集的汇编出版仍然是一项很重要的基础性工作。美国、俄罗斯、日本等发达国家，一直十分重视二元相图集的汇编出版，近期他们相继出版了几套比较完整的二元相图集，反映了二元相图研究的最新成果。

我国对相图研究也十分重视，并取得了不少国际公认的成果。但是，二元相图的编辑出版还满足不了当前材料科学发展的需要。《二元合金相图及中间相晶体结构》一书，是根据国内外已发表的最新资讯，经过筛选、校核、互相补充和取长补短，比较完整地汇编了 2200 多幅二元相图，并收集了 1800 多个二元系的中间相晶体结构参数数据。编者在汇编出版过程中，认真阅读了每一幅相图，修正了原文中的许多排印和其他错误。该书的出版对冶金材料科学与工程领域的科技工作者有重要的参考价值，对其他相关的科技人员也会有所裨益，该书的出版将为我国相图研究和应用发挥很好的作用。

特作序以致祝贺。

**金展鹏**

于中南大学

2008 年 8 月

# Foreword

Phase diagram research is one of the most important foundation works of material science, it has tightly relationship with the development of material engineering technology. Professor John F. Elliott, the famous metallurgist from the Massachusetts Institute of Technology said a metaphor that Phase diagram is the map of metallurgist, and guidelines direction for metallurgist at strange places. Therefore, phase diagram research has drawn great attention of material scientists and engineers for a long time.

With the development of science and technology, new materials spring up continuously. Engineering materials used in reality are multiple alloys mostly, and are advancing toward non-equilibrium material, functional gradient material and composite material, at the same time phase diagram calculation work is also developing prosperously. So phase diagram research work is becoming broader, however, binary phase diagram is always the foundation of phase diagram research and application, the publication and assembly of binary phase diagram collections is still vital basic work. Developed countries such as the America, Russia and Japan have paid great attention on the assembly of binary phase diagram collections, several series of complete binary phase diagram collections have been published recently, which reflected the new results of binary phase diagram research.

Phase diagram research has received attention greatly in our country, and international recognized results have been made yet. But the publication of binary phase diagram collections is still far away from meeting the requirement of material science development. The book of《Binary Alloy Phase Diagrams and Crystal Structure of the Intermediate phase》, which has been screened, checked and supplemented on the basis of the newest data published at home and abroad recently, has assembled more than 2200 binary phase diagrams completely and collected more than 1800 crystal structural parameters of binary intermediate phases. Editors have read every phase diagram conscientiously, discovered many printing and other errors in the originals.

The publication of the book has great reference value for the science and technology workers in the metallurgy and material science and engineering fields, and also acts positive role for the relative scientists. It will elaborate important action for the research and application of binary phase diagram in our country.

Make this foreword specially and congratulations.

Jin Zhanpeng  
August, 2008

# 前 言

相图(Phase Diagram)或称相平衡图(Phase-Equilibria Diagram)是研究物系相平衡时各种热力学变量(如温度、压力、摩尔量)之间关系及其变化规律的图形表达形式。由于在大多数情况下工程技术领域所研究的体系的各种反应和相平衡,都是在等压条件下(主要是在大气压力下)进行的,因此工程中相图的图轴通常是由温度和组元的摩尔分数(或质量分数)组成。这种由温度和组元的成分为坐标轴组成的相图中的每个点都代表这个系统的一个确定的热力学状态,故也把这种图形称为“状态图”(Constitution Diagram)。

根据相图可以了解到该体系中任何一个成分在任何温度存在有哪些相,各个相的成分及其相对量,以及在温度变化时其组成相的变化规律,产生什么反应。这些信息都是材料成分设计、确定材料制备加工工艺方法和预测材料性能的重要依据。美国著名冶金学家 John F. Elliott 形象地比喻,相图是材料科技工作者的地图;也有人比喻相图是材料研究的指南针。因此世界各发达国家对相图的研究都十分重视,有大量专门从事相图研究的科技人员。随着科学技术的发展,新材料也不断涌现,如非平衡态材料、复合材料、梯度材料等,而且实际使用的材料绝大多数都是多元合金,因之相图的研究内容也越来越广。尽管如此,二元相图始终是相图研究和应用的基础,其重要性仍然是不言而喻的。

科学技术的进步使实验测定相图的技术水平,以及相图计算的理论和方法都在不断提高,相图中的有关资料数据也在不断更新和补充,及时地汇编出版新的相图集,以反映最新研究成果,也就成为一项具有重要科学价值和实际意义的基础性工作;也是为材料科学与工程领域的广大科技人员,高等院校相关专业师生,从事科研、生产和教学提供必不可少的工具。

如前所述,发达国家十分重视相图研究,投入了大量人力、物力,也有多种专门发表相图研究成果的刊物,例如国际相图委员会于 1980 年创刊的 *Bulletin of Alloy Phase Diagrams* (1991 年改名为 *Journey of Alloy Phase Equilibria*, 2004 年又改名为 *Journey of Phase Equilibria and Diffusion*) 以及世界著名的 *Journey of Less-Common Metals*, 这些都是发表相图研究成果的重要的刊物;前苏联(俄罗斯)科技情报研究所,从 1955 年至 1996 年连续出版了 40 期金属系状态图(Диаграммы состояния металлических систем)等。目前,世界上关于相图及相关数据的出版物已达数百种,与之同时,相图集的汇编出版也成为重要的基础性工作。自 1936 年 M. Hansen 第一本《二元合金状态图集》(德文版)问世以来,德、美、俄、日等国相继修订、增补、汇编了数十种较大型的二元合金相图集,其详细的历史过程毋庸赘述,近 20 年来仅美国和俄罗斯都相继汇编出版了几部二元相图巨著。1986 年美国金属学会汇编出版了一部《*Binary Alloy Phase Diagrams*》,共二卷 800 多页,在此基础上于 1990 年作了较大的增补,又出版了《*Binary Alloy Phase Diagrams*》(第二版),共三卷 3000 多页,此书至 2001 年先后重印

了四次；2000年美国Hiroaki Okamoto又出版了Desk Hand book:《Phase Diagrams for Binary Alloys》，共800多页；俄罗斯莫斯科机械制造出版社于1996年出版了一部《Диаграммы состояния двойных металлических систем》，共三卷3300多页，这几部二元合金相图集都收集汇编了2000多个二元相图，以及二元系中间相的晶体结构数据，并对每个相图中相转变的特点、资料来源等作了详细说明。可以说这几部二元相图集是目前最全最新的二元相图集。

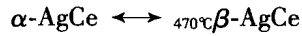
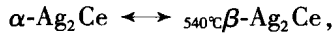
此外，美国金属学会从1987年开始汇编出版了Au、Be、Mg、Ni、Ti、V、W等12本二元专题相图集。

我国对相图的研究工作也得到了重视，有了较大进展，在相图计算以及多元相图的试验研究方法，在合金设计中的应用等方面，都取得了国际公认的成果。二元相图的汇编出版，也做了不少工作，但还远远满足不了目前材料学科发展的需要。到目前为止，我国还只有上海科学技术出版社于1986年出版过一本《二元合金状态图集》(虞觉奇、易文质等编译)，它共收集了1134幅二元合金相图，是国内一本比较齐全的二元合金相图集；另外，冶金工业出版社于2004年出版了一本日本长崎诚三和平林真编的《二元合金状态图集》的中译本(刘安生译)，共收集了666幅二元合金相图；1983、1993和2007年冶金工业出版社又先后出版了《贵金属合金相图》、《贵金属合金相图第一补编》、《贵金属合金相图及化合物结构参数》，这三本有关贵金属合金的相图集(均由何孝纯主编)，它包括了二元、三元相图；2007年中南大学出版社出版了《镁合金相图集》(刘楚明等编)，也包括了二元、三元相图，此外中南大学出版社于2002年、2005年先后出版的《铜合金及其加工手册》(田荣璋、王祝堂主编)，《铝合金及其加工手册》(王祝堂、田荣璋主编)也分别收集了50多幅铜合金、铝合金二元相图。上述我国汇编出版的这些二元相图集，有的只针对某一类合金，有的则出版时间较早，没有反映近代相图研究成果。显然，根据目前情况，再汇编出版一本内容更新更完整的二元相图集是十分必要的。

我们经过三年多的工作，主要依据：Hiroaki Okamoto, Desk Hand book, 《Phase Diagrams for Binary Alloys》, 2000; T. Masalski, H. Okamoto, P. R. Subramanian and Kaepzake, 《Binary Alloy Phase Diagrams》, 2nd, ASM International Materials Park, OH, 1990; 以及Акад РАН Н. П. Лякищев, 《Диаграммы состояния двойных металлических систем》, москва машиностроение, 1996, 这三部比较齐全的二元相图集，并参考其他一些已发表的二元相图及中间相晶体结构参数，通过各种最新资料的筛选、校核、相互补充，汇编成这本《二元合金相图及中间相晶体结构》，它共收集、遴选了2200多幅二元合金相图和1870多个二元系的中间相晶体结构参数；读者不仅可以根据相图来分析合金成分与相组成的关系，以及温度变化时相转变的规律，而且可以根据组成相的晶体结构特征进一步分析合金可能具有的性能特点，有利于扩展材料开发的思路，同时也对材料物理的研究人员和测试人员有一定的参考价值。

在众多的二元相图资料中，由于测定相图的试验条件的差异，试验技术的发展，不同作者，或发表时间的先后不同，同一相图经常存在若干差异，甚至有较大的变化，这是经常出现的正常情况，我们按照通常的做法，都是采用最新发表的资料。在汇编过程中通过对每一幅相图的仔细阅读后发现，原文中(包括英文、俄文)存在不少的排印和其他错误，我们经

过校对已发现的错误作了修正。另外还发现原文中存在一些由于考虑不够仔细或疏忽而出现的不妥之处，例如有许多二元系的中间相存在晶型转变，固定成分中间相的晶型转变为一恒定温度，原文中就用一根水平实线表示，如 Ag - Ce 二元系(见图 1, Ag - Ce 相图)中存在



等三个晶型转变，如果都用一水平直线表示，其结果在相图中 540°C、748°C、477°C 三根水平实线通过了两个两相区。显然，这种表示方法是不妥的，一方面它容易与表示三相平衡反应的水平实线混淆，严格地说，这也是违背相律和相区接触法则的。对这种错误我们都进行了修正，一律以细点线表示。另外，在目前众多的二元相图资料中，由沸点较低的组元所组成的二元相图，低沸点组元侧的端际单相区在沸点以上温度仍标为液相。例如 Hg - S 二元系，Hg 的沸点为 357°C，S 的沸点为 444.60°C，图中 Hg 和 S 侧的两个端际单相区，在组元沸点以上温度，都分别标为  $L_1$  和  $L_3$ 。类似情况，在 Bi 系、Cd 系中还有很多。我们认为这也是由于疏忽造成的错误，都进行了修正。此外，原文中对磁性转变表示也不统一，有的用虚线表示有的用点划线表示，我们都统一用点划线表示。有关中间相的晶体结构，原文中也少量存在化合物的泊松符号、空间群和 Strukturbericht 标记表示不一致的情况，经过校对也作了修正。

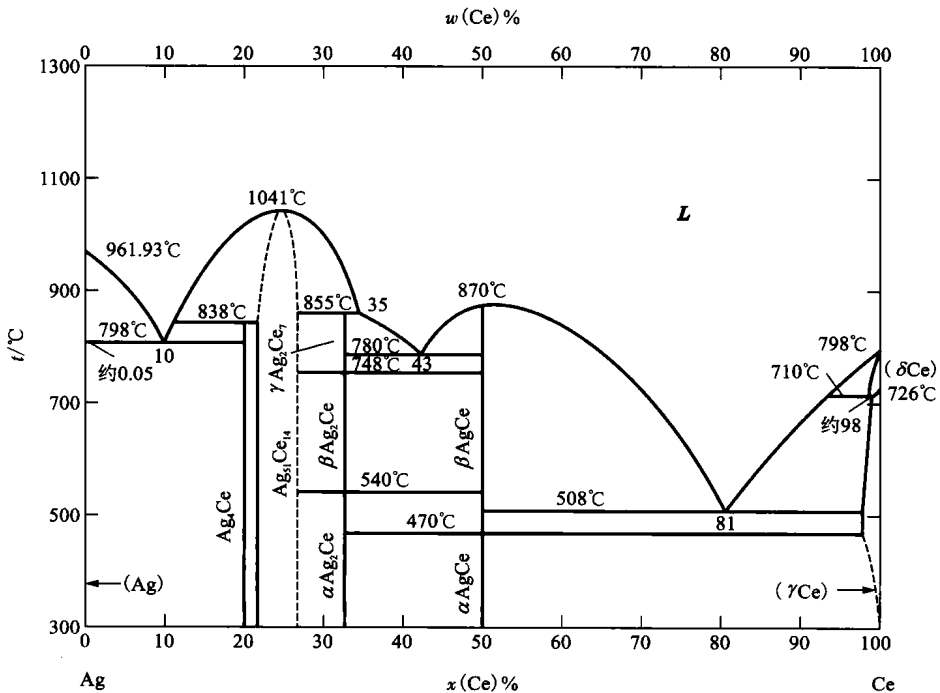


图 1 Ag - Ce 相图

为了便于排版，本书将相图和晶体结构分成两篇，都按英文字母顺序排列。参考文献中

除了列出了本书一些主要参考资料外，对每幅相图选列了一篇参考文献供读者需要时参考。

在最后的附录中列出了元素的有关物理性质数据，便于读者查阅。

考虑到本书的读者，大多数都系统学习过金属学或物理冶金基础，对相图和晶体结构的基本知识已经掌握，故对相图、相平衡、晶体结构的基本概念不再重复介绍。但考虑到某些不常见的等温反应，例如偏晶、熔晶、合晶、偏析等，有些读者可能不太熟悉，也考虑到有的从事材料研究工作不久的青年读者的需要，我们仍然在相图篇开始，把二元系中三相平衡反应在相图中的表示方法、固溶体和中间相的一些基本特点作了简要介绍；晶体结构篇开始也对晶体结构表示方法的基本知识作了简要说明，便于读者正确阅读、理解。

本书编写过程中得到了中南大学校长黄伯云院士、副校长邱冠周教授的支持，还得到金展鹏院士的关心并为本书作序，在此一并表示衷心感谢。本书的出版还得到了崇义章源钨制品公司黄泽兰董事长、羊建高总经理支持，特此表示感谢。编者力求收集的资料全面、准确，但由于水平有限，加之资料太多太广，且时间仓促，肯定还存在不足和差错之处，敬请读者批评指正。

**编 者**

2008年8月



# Preface

Phase diagram or phase equilibrium diagram is a kind of graphic expression form for studying the relationship and changing rules of the thermodynamic variables (such as temperature, pressure, molar mass) when the system is under phase equilibrium. In most of the engineering technology fields, as all of the reaction and phase equilibrium of the system are studied in equal-pressure condition (mainly under atmospheric pressure), so the axes of the phase diagram in engineering are usually composed of temperature and the molar fraction (or mass fraction) of the component. Every point in the phase diagram whose axes are composed of temperature and component will represent a certain thermodynamic state, therefore, the phase diagram is also called constitution diagram.

According to phase diagram, all constituents of the system under certain temperatures will be known that which phase would exist in, the composition and content ratio of each phase, changing rules of the constitution phase when the temperature is changing. These information is important foundation for designing material composition, determining material preparation technology and previewing material performance. The famous American metallurgist John F. Elliott metaphorically said that phase diagram is a map for material scientific worker, somebody also metaphored that phase diagram is the compass for material research. All the developed countries in the world have paid great attention on the phase diagram research, and many scientific workers are specialized in the phase diagram study. With the development of the science and technology, new materials are pouring out continuously, for example, non-equilibrium materials, composite materials and functional gradient materials. Moreover, most of the actually used materials are complex alloy, so the studied content of the phase diagram will be more and more comprehensive. However, binary phase diagram is always the research and application foundation of the phase diagram, its importance is easy to see.

With the advance of the science and technology the phase diagram experimental determination technical level, and the calculation theory and method of the phase diagram have also been improved. Related data of the phase diagram have also refreshed and supplemented gradually. Assembling and publishing a new phase diagram collection timely to reflect the latest research production will be a ground job with the important scientific value and actual meaning. It will also supply a necessary tool of scientific research, production and teaching for the general scientific workers, college and university teachers and students in related majors.

As mentioned earlier, developed countries have paid great attention on to the phase diagram research, input a good deal of manpower and material resources. There are also many kinds of journals which are specialized in publishing phase diagram research results, such as the Bulletin of Alloy Phase Diagrams which was originated by the International Phase Diagram Commission in 1980