

目 录

第一章 金属与合金材料	1
1.1 金属与合金的结构和相图	1
1.1.1 金属与合金的结构知识基础	1
1.1.2 相和相图	2
1.1.3 固溶体	7
1.1.4 中间相	12
1.1.5 储氢材料	15
1.1.6 形变对结构和性能的影响与消除	16
1.2 铁和碳钢	20
1.2.1 纯铁及碳在铁晶体中的存在形式	20
1.2.2 铸铁	23
1.2.3 碳钢	28
1.3 合金钢	30
1.3.1 合金结构钢(包括低合金高强度钢)	31
1.3.2 轴承钢	32
1.3.3 工具钢	33
1.3.4 耐蚀钢与耐蚀合金	34
1.3.5 耐热钢及耐热合金	35
1.3.6 电工硅钢	37
1.4 轻金属和重金属	37
1.4.1 铝及铝合金	38
1.4.2 镁、锂、铍	42
1.4.3 铜及其合金	45
1.4.4 镍、钴、锌、锡、铅及其合金	47
1.5 稀有金属, 铂族金属和记忆合金	51
1.5.1 稀有金属	51

1.5.2	铂族金属	57
1.5.3	记忆合金	59
1.6	非晶态金属	59
1.6.1	非晶固体的结构特征和分类	60
1.6.2	结构无序的描述	61
1.6.3	非晶态结构的几种描述方法	63
1.6.4	结构缺陷和结构弛豫	64
1.6.5	非晶固体的力学性能及应用前景	65
第二章	电介质材料	67
2.1	电介质的一般性质	68
2.1.1	电介质中的宏观电场和局域电场	69
2.1.2	描写介质极化的宏观量及其基本关系	70
2.1.3	电介质的极化机制	71
2.1.4	复介电电容率和介电损耗	76
2.1.5	介质的电击穿	79
2.2	压电材料的一般性能	82
2.2.1	一些各向异性物理量	84
2.2.2	工艺和环境条件对材料参数的影响	93
2.3	一些重要的压电材料及应用	95
2.3.1	一些常用的单晶压电材料	95
2.3.2	压电陶瓷	102
2.3.3	一些其他压电材料	109
2.3.4	压电材料应用简介	113
2.4	热释电材料	116
2.4.1	热释电效应及其分类	117
2.4.2	热释电探测器原理和性能参数	120
2.4.3	热释电材料的选择标准	123
2.4.4	一些重要的热释电材料	123
2.4.5	热释电材料的应用	124
2.5	铁电材料	129

2.5.1	铁电体的特性	130
2.5.2	反铁电性与铁弹性	135
2.5.3	铁电材料	137
2.5.4	铁电材料的应用	144
第三章	磁性材料	147
3.1	物质的磁性	147
3.1.1	磁性和磁场	147
3.1.2	磁性的来源	148
3.1.3	无序磁性	150
3.1.4	有序磁性	153
3.1.5	技术磁化	158
3.2	磁性材料的磁特性	160
3.2.1	内禀磁性	161
3.2.2	直流磁性	163
3.2.3	交流磁性	166
3.2.4	磁共振特性	170
3.2.5	磁效应	174
3.3	磁性材料的种类	178
3.3.1	永磁材料	178
3.3.2	软磁材料	182
3.3.3	磁信息材料	187
3.3.4	微波磁性材料	196
3.3.5	其他磁性材料	201
3.4	磁性材料的应用	207
3.4.1	在传统技术方面的应用	207
3.4.2	在高新技术方面的应用	209
3.4.3	在军事科学技术上的应用	212
3.4.4	在科学研究方面的应用	213
3.5	磁性材料与边缘(交叉)科学	214
3.5.1	生物磁学	215

3.5.2	地磁学	216
3.5.3	天体磁学	217
3.5.4	原子核磁学	217
3.5.5	基本粒子磁学	218
第四章 半导体材料		219
4.1	半导体材料的基本特性	219
4.1.1	半导体的能带	219
4.1.2	半导体的导电类型	221
4.1.3	热平衡状态下的载流子浓度	224
4.1.4	非平衡载流子	228
4.2	半导体的界面效应	231
4.2.1	半导体-半导体界面	231
4.2.2	金属-半导体界面	243
4.2.3	半导体-绝缘体界面	246
4.3	元素半导体	252
4.3.1	半导体材料的分类	252
4.3.2	锗、硅的能带和主要性质	255
4.3.3	锗/硅应变层超晶格材料	258
4.4	化合物半导体及其固溶体	263
4.4.1	化合物半导体的主要材料	263
4.4.2	固溶体半导体	268
4.4.3	发光二极管和半导体激光器	270
4.5	窄禁带半导体和半磁半导体	279
4.5.1	窄禁带半导体材料和特性	279
4.5.2	碲镉汞晶体的性质和用途	281
4.5.3	半磁半导体	284
4.6	非晶态半导体	287
4.6.1	非晶态半导体材料的结构和分类	287
4.6.2	非晶态半导体的能带模型和电导	289
4.6.3	非晶硅及其应用	292

第五章 光学材料	297
5.1 光介质材料	297
5.1.1 光学玻璃	298
5.1.2 光学晶体	302
5.1.3 光学塑料	304
5.1.4 红外透明陶瓷材料	305
5.2 光学纤维	307
5.2.1 玻璃光学纤维	308
5.2.2 塑料光学纤维	309
5.2.3 液芯光学纤维	309
5.2.4 红外光学纤维和紫外光学纤维	309
5.2.5 激活光学纤维	310
5.2.6 耐辐射光学纤维	310
5.2.7 光学纤维元件的制作	310
5.3 光学薄膜	311
5.3.1 增透膜	312
5.3.2 反射膜	314
5.3.3 干涉滤光片	317
5.3.4 分光膜	319
5.3.5 太阳能薄膜	321
5.4 固体发光材料	322
5.4.1 概述	322
5.4.2 发光过程的基本理论	323
5.4.3 固体发光的激发方式	327
5.5 晶体的非线性光学性质	335
5.5.1 概述	335
5.5.2 二阶非线性光学效应	336
5.5.3 非线性光学材料	342
5.6 电光晶体材料	346
5.6.1 电光效应	346

5.6.2	电光器件及其应用	356
5.6.3	电光晶体材料	360
5.7	弹光与声光材料	362
5.7.1	弹光效应	362
5.7.2	声光效应	363
5.7.3	声光器件和应用	365
5.7.4	声光晶体材料	368
第六章	超导材料	371
6.1	超导材料的基本特性	371
6.1.1	零电阻现象	371
6.1.2	完全抗磁性	373
6.1.3	临界电流和临界磁场	374
6.1.4	热学性质	377
6.1.5	同位素效应	381
6.2	超导电性的微观理论	381
6.3	超导隧道效应	386
6.3.1	超导准粒子的隧道效应	386
6.3.2	约瑟夫逊效应	391
6.4	常规超导材料	396
6.4.1	常规超导材料	396
6.4.2	非晶超导材料	400
6.4.3	重电子超导材料	402
6.5	氧化物超导材料	404
6.5.1	氧化物超导体的结构	406
6.5.2	氧化物超导体的特性	409
6.6	有机超导材料	410
6.6.1	非生物有机超导体	410
6.6.2	生物有机超导体	414
6.6.3	碳化合物超导材料	414
6.7	超导材料的应用	416

6.7.1	超导磁体及其应用.....	417
6.7.2	超导器件.....	422
6.7.3	超导体在精密测量中的应用.....	431
参考文献		438

第一章 金属与合金材料

周期表中右边五个族多属非金属元素,其余大约占总数 $3/4$ 的元素都是金属元素,它们主要靠金属键结合成金属晶体,简称金属。工业生产中,一般是从含金属元素的天然矿石冶炼出来,然后再用电冶、电解等方法提纯得到含杂质很少的工业纯金属,或者保留和掺入一定量的某些种类的金属和非金属元素而成为合金,它们一般都是多晶体。

金属与合金的基本物理和化学性质,主要由组成它们的成分、结构、结合性质和缺陷决定,与温度、压力、加工等条件也有关。由于金属键作用是有大量自由电子存在,金属与合金材料的通性是有良好的导电性,导热性和塑性,自由电子易吸收和散射可见光,因而具有光泽。但是,弹性、硬度、强度、熔点、磁性、氧化性、耐腐蚀性、可加工性等则可以相差很大。本章将首先较详细地介绍金属与合金的结构和相图等基础知识,然后再分别介绍一些重要及有发展前途的金属与合金材料。

1.1 金属与合金的结构和相图

1.1.1 金属与合金的结构知识基础

金属原子在组成金属晶体时,由于放出自由电子成为共有化电子,剩下离子实的电子结构基本上是球对称的,相当于一些半径相等的球。按几何规则排列成点阵结构时,通常是形成最近邻离子数(配位数)为 12 的最紧密结构,即面心立方结构(fcc)和密排六方结构(hcp),前者有贵金属 Cu、Ag、Au 以及 Sr、Ni、Pd、Ir、Pt、

Al、Pb 等,后者有 Be、Mg、Zn、Cd、Tc、Re、Gd、Dy、Ho、Er、Tm、Lu、Os 等。有些金属是次紧密的体心立方结构(bcc),配位数为 8,如碱金属 Na、K、Rb、Cs、以及 Ba、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Eu 等,其他金属有 14 种布喇菲晶胞中的某种结构,甚至在不同温度下有不同的结构,叫同素异晶转变。例如 Fe 在常压于 1 538℃液化,2 740℃气化,1 538℃以下开始结晶。1 394~1 538℃之间是体心立方结构,叫 δ 铁;912~1 394℃之间变成面心立方结构,叫 γ 铁;912℃以下又变成体心立方结构,叫 α 铁,在 770℃以下,具有铁磁性。又如金属 Li,在 20℃以上为体心立方结构;在 -195℃为面心立方或密排六方结构。Sn 在 18℃以下是正方结构,叫白锡;。在 18℃以上是金刚石型结构,叫灰锡。一般地说,多晶金属及合金的晶粒大小,位错和晶界等缺陷,点阵结构类型和晶格常数都可能随温度变化而变化,从而影响其性能。目前已能生产出纯度达 99.9999% 以上的化学纯(或超纯)金属(一般工业纯度仅为 98% 左右)。对于固体器件用的材料,要求可能更高,例如单晶半导体锗和硅可达小数后九个 9 以上的百分纯度。

除纯铂、纯金、纯银、纯铜、纯铝等纯金属,用作导电、导热和一些特殊用途外,一般多用含两种以上不同成分的合金。它们又分为固溶体和中间相合金两大类。随基底金属(溶剂)和其他成分(溶质)的含量、存在形式、点阵结构、结合性质及化合配比和他们随温度、压力变化的不同情况,又分成不同的固态相或相结构,因而也有不同的化学和物理性质。

1. 1. 2 相和相图

一般物质体系的状态依其成分、结构和温度、压力等条件不同而变化。例如在常压下,水在 0~100℃之间是液体,在 0℃以下是固体冰,在 100℃以上是气体,称为水的三相。对于固体,特别是合金,相结构也会随温度变化而发生显著变化。我们定义一个成分和

结构一定、物理和化学性质均匀的整体叫做相。例如纯铁有 α 相、 γ 相和 δ 相等。一个物质体系也可同时多相共存，例如水在气化或凝结过程中，气、液二相共存；在结冰或熔解过程中，固、液二相共存。不同相之间有明显的相界面，界面上宏观性质发生突变。多种成分均匀混合的气体或液体都只是一相。

为进一步研究合金的相结构和相变，再介绍组元和自由度等概念。一个体系中包含不同的元素或化合物的种数叫原始物质数。能将体系中各相都表示出来的最少原始物质数叫组元。若体系中各原始物质间无化学反应，则组元数等于原始物质数。若体系中各原始物质之间有化学反应，组元数等于原始物质数减去他们之间的独立反应数。例如，由 Ga, As 和 GaAs 组成的体系，其原始物质数为 3，但 Ga 和 As 可以发生反应， $\text{Ga} + \text{As} = \text{GaAs}$ ，所以组元数为 2。若在某一相之中，几种原始物质的浓度间还存在某种关系，一种物质可由一个化学反应方程中的其他物质表示出来，即体系中各原始物质浓度间存在一定的限制条件时，体系的组元数 k 将等于原始物质数 N 减去独立化学反应数 R_e 和浓度限制条件数 R'_e

$$k = N - R_e - R'_e \quad (1-1)$$

例如，将 GaAs 置于高温下加热，使其部分分解，此时，体系内原始物质数为 3(GaAs, Ga, As)，但因有 GaAs 热解为 Ga 和 As 的反应，且 Ga 和 As 的浓度比为 1:1，故该体系中的组元数仅为 1。

若一个体系中只有一个组元，称为单元系。单元系在不同的温度、压力下，可以是单相或多相共存，叫单元复相系，例如多相共存的水。若一个体系包含两个以上的组元，称为二元系，三元系……等等。多元系的相与温度、压力、成分等因素有关。在一定条件下，多元系亦可出现多个相，叫多元复相系。

一定成分的体系，在一定的温度和压力下达到平衡态，叫平衡体系。平衡态下体系中独立可变因素的数目，叫自由度。自由度可

在一定范围内任意改变而不会使任何旧相消失和新相产生。通常情况下，独立变量是取温度 T 、压力 P 和体系中组元的浓度 x 。例如单元液相水，在一定范围内改变温度和压力，仍为液态，不产生冰和蒸汽，故其自由度为 2，这又称为双变体系。对于水和蒸汽的平衡体系，由于温度和压力间存在一定关系，一个变化，另一个也随之变化，故温度和压力中只有一个可自由变动，其自由度为 1，或称单变体系。对于水、蒸汽和冰的三相平衡体系，

温度和压力都一定，若有一个发生变化，有一相就会消失，自由度为零，或称零变体系。水的相变情况，由相平衡曲线图表示，叫水的相图，如图 1-1 所示。相平衡曲线的交点 $O(P_i, T_i)$ 叫三相共存点，各相平衡曲线(实线)上的点

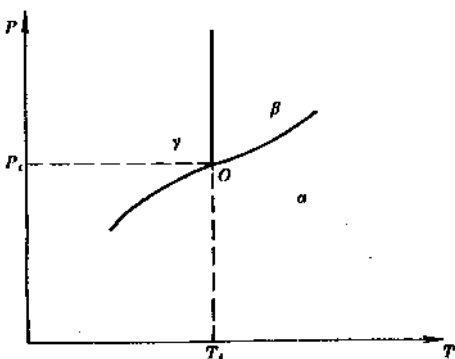


图 1-1 水的平衡相图

表示两相共存。 α 、 β 、 γ 各区，是单相区。对金属与合金的相，通常以希腊字母 α 、 β 、 γ 、 δ ……和罗马数字 I、II、III……表示。

二元系的状态由温度、压力和两组元的相对含量(浓度)决定。故二元系比单元系多一个自由度。因此，二元系中若只存在一相，也要指定温度、压力和浓度三个变数值，即三个自由度都确定时，体系的状态才能确定。对于气-固两相平衡，要确定固相的蒸气压，除了指定温度数值外，还要指定固相中某组元的浓度值。

对于不论由多少种物质和多少相组成的多元复相系(包括单元多相系)，在一定温度和压力下，各相平衡的条件是：任何一种物质在含有该物质的各相中的化学势相等。

包括多元复相系在内的一般情况，已由理论和实验研究总结

出了自由度 f , 组元数 k 和相数 p 之间的关系如下:

$$f = k - p + 2 \quad (1-2)$$

公式(1-2)叫做相律,它显然对前面讨论过的具体例子成立。由于自由度不能为负,故单元系能同时共存的相不能超过3,此时, $k = 1, p = 3, f = 0$ 。对于二元系, $k = 2, f = 4 - p$ 。可见能同时共存的最多不超过4,最大自由度为3。

研究多相体系的状态如何随浓度、温度、压力等条件而变化,最常用的方法是通过实验,绘成状态图,叫做相图。一个体系的平衡情况和变化规律可以从相图中的点、线、面、体的几何形状得到反映。通过相图,可以更直观地了解材料的元素组成,化合物的形成条件和熔化温度,合金的熔化和凝固范围,固溶体的溶解度,以及在某一外界条件下,体系可能存在的相,各相的组成和相对数量等等。

相图同时也概括了在成分和温度变化条件下所发生的相变过程(准静态过程)。在相图上由一个相区过渡到另一个相区表示相结构变化,即发生不同相之间的相变。

要完整地绘制二元系合金的相图,需要采用三个独立变化的参数构成的立体图。通常采用温度 T , 压力 P 和一个组元的浓度 x (摩尔数或百分比浓度)。由于绘制 T, P, x 三坐标立体图是比较复杂的,为了应用方便,常固定某一参量得到立体图的截面图。对于许多合金和氧化物的固-液平衡体系,压力影响不大,经常采用定压的 $T-x$ 相图。对于非凝聚体系,压力对固液组成的变化影响较大,仍需采用 $P-x, T-x$ 立体图,或立体图的空间曲线在 $T-x, P-x, P-T$ 平面上的投影图来描述。一些 III-V 族和 I-VI 族化合物体系,由于含有挥发性成分,就需采用这种相图。

三元合金相图的一般情况很复杂,实用性不大。

下面以 Ge-Si 相图为例,具体介绍二元系相图。

在 Ge-Si 相图中有两条平衡曲线,上面一条是液相线,表示不

同成分的熔体开始结晶时的温度连线。下面一条是固相线，表示成分不同的熔体中结晶终了时的温度的连线。两条线在 Ge 和 Si 的熔点处相连接。液相线上方为液相区，固相线下方为固相区，固-液相线间的区域是固、液两相平衡共存区。

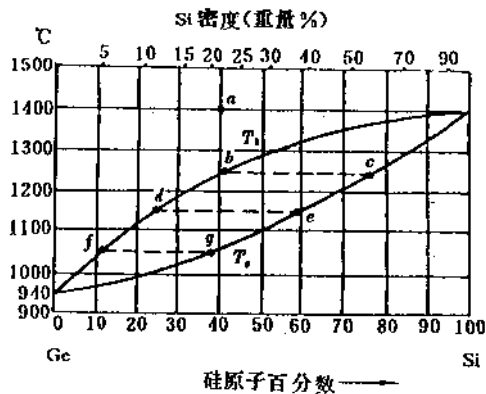


图 1-2 Ge-Si 相图

下面再讨论液相冷却的变化过程。设合金含有 40% 的原子 Si，加热到 1400°C 的 a 点开始冷却，到接近 1230°C (b 点) 时开始结晶，析出晶体，出现两相平衡。晶体成分的 Si 较熔体成分的 Si 为高。由于熔体 Si 含量减少，凝固点会进一步下降。若再冷却，晶体不断析出，熔体的组成由 b 点变到 d 点，与之平衡的晶体则由 c 点变到 e 点。再冷却则熔体组成沿液相线 b、d、f 变化，晶体成分沿固相线 c、e、g 变化。当温度降到近 1070°C 时，熔体完全凝固，其成分仍等于原合金组成。

上面分析的冷却相变过程是准静态过程，过程中每一点都处于固-液两相平衡态。准静态过程使得先析出的含 Si 高的晶体与后析出的含 Si 低的晶体通过扩散而消除差异，整个固相以均一的组成与液相达成平衡。但实际冷却过程是非平衡的，使得先后析出的晶体组成不均匀，此现象称为浓度偏析。

实际固体材料的获得，往往都要经过一定的相变过程。许多材料都是由高温熔融态凝固而得到，即经过由液态到固态的相变过程。在许多情况下，也可发生较低温度下不同固相之间的相变。有意利用和控制相变对得到所需性能的材料有重要作用。

1.1.3 固溶体

固溶体是溶质组元溶于溶剂组元的点阵结构中的单一而均匀的固体。溶质呈原子状态(一般溶液的溶剂可呈分子状态),固溶体的点阵结构类型与溶剂的相同,但会引起畸变。特别是各组元的原子尺寸相差较大时,畸变也较大。工业合金中绝大部分都是以固溶体为基础的,有的甚至完全由固溶体组成。例如,产量大、用途广的普通碳钢与低合金钢,其中的固溶体含量在85%以上,多的可达98%以上。如 α 黄铜(Zn溶入面心立方Cu中的固溶体)除少量夹杂物外,几乎100%是固溶体。可见固溶体是合金中一个特大的结构类型。

一、固溶体的分类

1. 按溶剂分类 一次固溶体和二次固溶体。前者是以纯金属组元作溶剂的固溶体,也叫边际固溶体。后者是以化合物为溶剂的固溶体,或称中间相固溶体,如电子化合物,间隙相等。有些化合物之间也可互溶成固溶体,如 Fe_3C 和 Mn_3C 以及 TiC 和 TiN 等。

2. 按固溶度(溶解度)分类 有限固溶体和无限固溶体。前者是在一定条件下,溶质组元的浓度只能在一定范围内变化,超过一定限度,溶质不再能被溶解,此限度叫溶解度。大部分固溶体都是这一类(包括一次和二次固溶体)。当溶质能以任何比例溶入溶剂时,即溶解度可达100%,叫无限固溶体或连续固溶体。这时溶剂和溶质可以互换,通常以浓度大于50%者为溶剂。 $Ge-Si$ 系、 $Cu-Ni$ 系、 $Ag-Au$ 系、 $Cu-Au$ 系、 $Ti-Zr$ 系、 $Mg-Cd$ 系等是二次无限固溶体。 $TiC-ZrC$ 、 $TiC-VC$ 、 $TiC-NbC$ 、 $VC-NbC$ 、 $ZrC-NbC$ 、 $TiC-TiC$ 等是一次无限固溶体。一般讲,若两种组元的结构和原子半径相近,无论在液态或固态都能以任何比例相溶,形成均匀单相,则是连续固溶体。

3. 按溶质原子在溶剂点阵中所占位置分类 替位固溶体和间

隙固溶体。前者的溶质原子占据与溶剂原子相同的点阵位置，而替换一些溶剂原子。大部分固溶体都是替位式的，只有溶质原子较溶剂原子小时，才形成间隙固溶体。

常见的间隙固溶体由基底金属中溶入 C、H、N、B 等元素形成。主要点阵类型有 NaCl 型：ZrN, TiC, TiH 等；体心立方：TaH 等；密排六方：Fe₂N, Mo₂C 等；CaF₂ 型：TiH₂ 等；ZnS 型：TiH 等；WC 型：MoC, MoH, WH 等；AlB₂ 型：MgB₂, TiB₂, CrB₂ 等。此外， α -Fe 和 γ -Fe 中溶入 C 也是间隙固溶体。一些金属和它的间隙固溶体的某些性质比较列于表 1-1 中。

表 1-1 金属和它的间隙固溶体性质的比较

金属	结构	熔点(K)	硬度(莫氏)	间隙固溶体	结构	熔点(K)	硬度(莫氏)
Ti	hcp 或 bcc	1 950	4~5	TiN	fcc	3 200	9
	TiC			fcc	3 410	9	
	TiB ₂			hcp	3 170	8	
Zr	hcp 或 bcc	2 125	5	ZrB ₂	hcp	3 260	8
	ZrN			fcc	3 255	8	
W	bcc	3 680	7~8	WC	hex	3 130	9
				W ₂ C	hcp	3 130	9~10
Fe	fcc 或 bcc	1 810	4~5	Fe ₃ C	正交	2 170	8
Ta	bcc	3 270	5	TaN	hcp	3 360	9
				TaC	fcc	4 150	8
Mo	hcp 或 bcc	2 880	6	Mo ₂ C	hcp	2 690	8

可见，间隙相固溶体比相应母金属的熔点和硬度要高，TaC 熔点超过 4 000K，W₂C 的硬度已接近硬度最高的金刚石硬度 10，它们都是很有用的工程材料。

4. 按溶质原子与溶剂原子的相对分布分类 有序固溶体和无序固溶体。前者的溶质原子按适当比例和一定顺序与方向, 绕着溶剂原子分布。它可以是替位式有序, 也可以是间隙式有序。但由于有序化的结果, 会引起结构类型变化, 故有人将有序固溶体列入中间相。无序固溶体的原子随机地分布于溶剂晶体点阵中, 它既可替换溶剂原子占据的阵点的位置, 也可占据溶剂原子的间隙位置, 无一定规律性。大部分固溶体都属于这一类。

二、影响溶解度的因素

影响溶解度的因素很多, 至今尚不完全清楚, 只是从大量实验总结出以下规律。

1. 晶体结构因素 形成替位式无限固溶体的组元必须具有相同的点阵结构类型。因为只有 A, B 组元的结构类型相同时, 他们才可能连续不断地置换, 如 $Au-Ag$ 合金中 Au 和 Ag 都是面心立方结构。若两组元点阵结构不同, 溶解度只能是有限的。

2. 原子尺寸因素 对大量合金的统计调查表明, 以溶剂原子尺寸为标准, 只有当溶剂和溶质原子半径差小于 $14\% \sim 15\%$ 时, 才可能形成较大溶解度的以至连续无限固溶体。

3. 负电性因素 两种原子的负电性相差愈大, 他们间的化学亲和力愈强, 愈有利于形成稳定的化合物, 而不利于形成固溶体, 因而溶解度低。只有负电性相近的元素才可能形成较大溶解度的固溶体。例如负电性强的 VA 族元素在一般金属中的溶解度很低, 只在正电性不很强的 Cu, Ag 中且在较高温度下才有一定的溶解度。而负电性较弱和更弱的 VA 族和 IIA 族元素, 在一般金属中的溶解度就大些了。例如碳钢中的碳主要以 Fe_3C 和石墨碳两种形式存在, 后者比前者的稳定性大。所以在其他条件相同时, 石墨在 Fe 中的固溶度总比 Fe_3C 的固溶度小。

4. 电子浓度因素 实验表明, 溶质元素的原子价(从而电子浓度)愈高, 在固溶体中的溶解度愈低。所谓电子浓度就是合金中的

价电子数与原子数之比。设溶质原子在合金中的含量为 $x\%$ (原子), 溶质原子价为 B , 溶剂原子价为 A , 则电子浓度

$$C = [A(100 - x) + Bx] / 100 \quad (1-3)$$

对于面心立方金属溶剂, 如 $\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Au}$ 等, $C \approx 1.4$ 。若超过此极限值, 固溶体就不稳定而生成别的相, 即达到了溶解限度。

三、共晶和包晶相变

为简单起见, 只讨论二元系。如前所述, 连续固溶体的 A, B 两组元, 无论在固相或液相都能完全互溶, 成为均匀系统。若 A, B 两组元在液相可溶, 而在固相时极难互溶或只具有有限溶解度的情况, 则必定出现三相点。如果三相点的温度低于 A 和 B 两纯组元的凝固点, 称此类型的三相点为共晶点。若三相点的温度介于 A 和 B 两纯组元的凝固点之间, 则此类型的三相点为包晶点。具有共晶点或包晶点的二元体系, 称为共晶体系或包晶体系。例如, $\text{Cu}-\text{Ag}, \text{Pb}-\text{Sn}, \text{Al}-\text{Zn}, \text{Al}-\text{Cu}, \text{Al}-\text{Si}, \text{Fe}-\text{C}$ 属共晶系; $\text{Pt}-\text{Ag}, \text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}, \text{Cu}-\text{Zn}, \text{Fe}-\text{Mn}$ 等属包晶系。两种体系中均可发生共晶转变或包晶转变。从相图上来看, 在这种二元系固相的系统中, 液-固两相区的下界包含一段水平等温线。

今以图 1-3 $\text{Ag}-\text{Cu}$ 共晶相图和图 1-4 $\text{Pt}-\text{Ag}$ 包晶相图为例来说明。图 1-3 中液相线分 $T_A E$ 和 $E T_B$ 两段, 对应的固相线为 $T_A D$ 和 $T_B F$ (凝出的固相为 I 和 II)。它们分别表示元素 A 为溶剂、元素 B 为溶质和 B 为溶剂 A 为溶质。固相线与液相线之间的区域两相共存。图 1-4

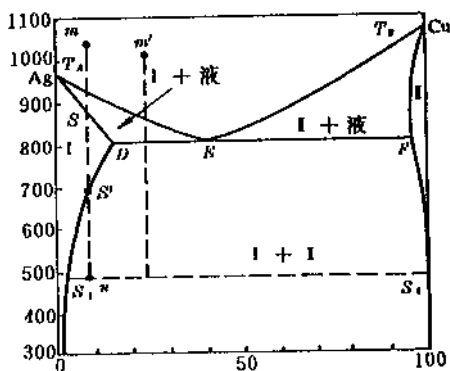


图 1-3 $\text{Ag}-\text{Cu}$ 共晶相图