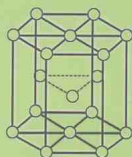
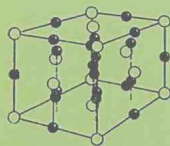


# 镁合金相图集

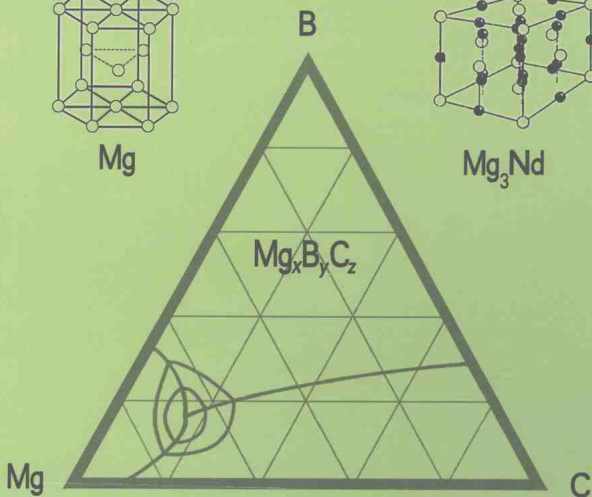
刘楚明 朱秀荣 周海涛 / 编 丁道云 / 主审



Mg



Mg<sub>3</sub>Ni



# 镁合金相图集

刘楚明 朱秀荣 周海涛 编

丁道云 主审

中南大学出版社

---

图书在版编目(CIP)数据

镁合金相图集/刘楚明,朱秀荣,周海涛编. —长沙:中南大学出版社,2006. 12

ISBN 7-81105-322-5

I. 镁... II. ①刘... ②朱... ③周... III. 镁合金-相图-图集 IV. TG146.2-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 025727 号

---

镁合金相图集

刘楚明 朱秀荣 周海涛 编

丁道云 主审

---

责任编辑 汪宜晖 丁道云

责任印制 文桂武

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 长沙瑞和印务有限公司

---

开 本 880 × 1230 1/16  印张 22.25  字数 560 千字

版 次 2006 年 12 月第 1 版  2006 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-81105-322-5/TO · 014

定 价 68.00 元

---

图书出现印装问题,请与经销商调换

## 前言

从19世纪70年代开始,人们对金属合金相图及相平衡关系进行了大量研究,为材料研究和开发提供了丰富的文献。镁合金具有高阻尼、高比强度、高比刚度、高电磁屏蔽性能及可回收利用等优良特性。镁及其合金作为本世纪的“绿色”工程材料,目前世界各发达国家都投入了相当的力量开展镁合金的研究和开发。我国镁资源丰富,储量居世界首位,是原镁的最大生产国和出口国,镁合金的研究已是国家发展规划中材料领域的重点任务。而合金相图被喻为材料工作者的地图,因此,我们在此精选了镁的部分相图及部分相关数据,并进行了详细比较、核对和综合,力图读者能从中获取最新信息,作为镁合金研究、开发和教学中的有益参考。本书分两部分,第一部分是二元系,第二部分是三元系。由于篇幅限制,三元系中作了简略,仅列出了富镁角的相图、与镁基合金密切相关的反应及三元相的结构和数据。三元系中非富镁角的相关资料请读者查阅引注的参考文献。在相图的编写过程中,所采用的绝大部分是实测相图,但也吸纳了少数根据热力学数据计算的相平衡关系,为相关系统的材料研究提供基本参考。

本相图的编排次序,是在镁基上按照第二和第三组元素符号字母顺序排列的。图的右下角括号内号码为参考文献。二元系中引用的晶格参数凡未说明的均是室温数据。

由于作者水平所限,书中定有不少缺陷和错误,敬希读者批评指正。

本书编写过程中得到了杜勇教授、黄继武副教授、蒋树农博士、张振栋及张靖硕士的支持,作者在此表示感谢。

编者

## 目 录

## 1 镁合金二元相图

|                   |      |
|-------------------|------|
| 1. Mg - Ag .....  | (3)  |
| 2. Mg - Al .....  | (4)  |
| 3. Mg - As .....  | (5)  |
| 4. Mg - Au .....  | (6)  |
| 5. Mg - B .....   | (7)  |
| 6. Mg - Ba .....  | (8)  |
| 7. Mg - Be .....  | (9)  |
| 8. Mg - Bi .....  | (10) |
| 9. Mg - Ca .....  | (11) |
| 10. Mg - Cd ..... | (12) |
| 11. Mg - Ce ..... | (13) |
| 12. Mg - Co ..... | (15) |
| 13. Mg - Cr ..... | (16) |
| 14. Mg - Cs ..... | (17) |
| 15. Mg - Cu ..... | (18) |
| 16. Mg - Dy ..... | (19) |
| 17. Mg - Er ..... | (20) |
| 18. Mg - Eu ..... | (21) |
| 19. Mg - Fe ..... | (22) |
| 20. Mg - Ga ..... | (23) |
| 21. Mg - Gd ..... | (24) |
| 22. Mg - Ge ..... | (25) |
| 23. Mg - H .....  | (26) |
| 24. Mg - Hf ..... | (27) |
| 25. Mg - Hg ..... | (28) |
| 26. Mg - Ho ..... | (29) |
| 27. Mg - In ..... | (30) |
| 28. Mg - Ir ..... | (31) |
| 29. Mg - La ..... | (32) |

|                   |      |
|-------------------|------|
| 30. Mg - Li ..... | (33) |
| 31. Mg - Lu ..... | (34) |
| 32. Mg - Mn ..... | (35) |
| 33. Mg - Mo ..... | (36) |
| 34. Mg - N .....  | (37) |
| 35. Mg - Na ..... | (38) |
| 36. Mg - Nb ..... | (39) |
| 37. Mg - Nd ..... | (40) |
| 38. Mg - Ni ..... | (41) |
| 39. Mg - O .....  | (42) |
| 40. Mg - Pb ..... | (43) |
| 41. Mg - Pd ..... | (44) |
| 42. Mg - Pr ..... | (45) |
| 43. Mg - Pu ..... | (46) |
| 44. Mg - Rb ..... | (47) |
| 45. Mg - Sb ..... | (48) |
| 46. Mg - Sc ..... | (49) |
| 47. Mg - Si ..... | (50) |
| 48. Mg - Sm ..... | (51) |
| 49. Mg - Sn ..... | (52) |
| 50. Mg - Sr ..... | (53) |
| 51. Mg - Tb ..... | (54) |
| 52. Mg - Th ..... | (55) |
| 53. Mg - Ti ..... | (56) |
| 54. Mg - Tl ..... | (57) |
| 55. Mg - Tm ..... | (58) |
| 56. Mg - U .....  | (59) |
| 57. Mg - V .....  | (60) |
| 58. Mg - Y .....  | (61) |
| 59. Mg - Yb ..... | (62) |
| 60. Mg - Zn ..... | (63) |
| 61. Mg - Zr ..... | (64) |

## 2 镁合金三元相图

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 1. Mg - Ag - Al ..... | (67) |
| 2. Mg - Ag - Cd ..... | (72) |
| 3. Mg - Ag - Cu ..... | (74) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 4. Mg - Ag - In .....  | (78)  |
| 5. Mg - Ag - Li .....  | (82)  |
| 6. Mg - Ag - Ni .....  | (85)  |
| 7. Mg - Ag - Pd .....  | (87)  |
| 8. Mg - Ag - Sb .....  | (90)  |
| 9. Mg - Ag - Sn .....  | (91)  |
| 10. Mg - Ag - Tl ..... | (95)  |
| 11. Mg - Al - Bi ..... | (96)  |
| 12. Mg - Al - C .....  | (98)  |
| 13. Mg - Al - Ca ..... | (99)  |
| 14. Mg - Al - Cd ..... | (101) |
| 15. Mg - Al - Ce ..... | (103) |
| 16. Mg - Al - Co ..... | (105) |
| 17. Mg - Al - Cu ..... | (106) |
| 18. Mg - Al - Dy ..... | (109) |
| 19. Mg - Al - Fe ..... | (111) |
| 20. Mg - Al - Ga ..... | (112) |
| 21. Mg - Al - Gd ..... | (114) |
| 22. Mg - Al - H .....  | (116) |
| 23. Mg - Al - Hf ..... | (117) |
| 24. Mg - Al - Ho ..... | (118) |
| 25. Mg - Al - La ..... | (120) |
| 26. Mg - Al - Li ..... | (122) |
| 27. Mg - Al - Mn ..... | (127) |
| 28. Mg - Al - Nd ..... | (130) |
| 29. Mg - Al - Pb ..... | (132) |
| 30. Mg - Al - Pr ..... | (135) |
| 31. Mg - Al - Sb ..... | (136) |
| 32. Mg - Al - Sc ..... | (137) |
| 33. Mg - Al - Si ..... | (138) |
| 34. Mg - Al - Sm ..... | (142) |
| 35. Mg - Al - Sn ..... | (143) |
| 36. Mg - Al - Sr ..... | (147) |
| 37. Mg - Al - Ti ..... | (149) |
| 38. Mg - Al - Tl ..... | (150) |
| 39. Mg - Al - Y .....  | (152) |
| 40. Mg - Al - Zn ..... | (154) |
| 41. Mg - Al - Zr ..... | (160) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 42. Mg - Au - Si ..... | (161) |
| 43. Mg - B - N .....   | (162) |
| 44. Mg - Bi - Ca ..... | (163) |
| 45. Mg - Bi - Cu ..... | (166) |
| 46. Mg - Bi - Ga ..... | (169) |
| 47. Mg - Bi - Pb ..... | (170) |
| 48. Mg - Bi - Sb ..... | (172) |
| 49. Mg - Bi - Sn ..... | (173) |
| 50. Mg - Bi - Zn ..... | (175) |
| 51. Mg - Bi - Zr ..... | (177) |
| 52. Mg - Ca - Cu ..... | (178) |
| 53. Mg - Ca - Li ..... | (180) |
| 54. Mg - Ca - Mn ..... | (181) |
| 55. Mg - Ca - O .....  | (184) |
| 56. Mg - Ca - Si ..... | (185) |
| 57. Mg - Ca - Zn ..... | (186) |
| 58. Mg - Ca - Zr ..... | (188) |
| 59. Mg - Cd - Cu ..... | (189) |
| 60. Mg - Cd - Li ..... | (190) |
| 61. Mg - Cd - Pb ..... | (192) |
| 62. Mg - Cd - Ti ..... | (193) |
| 63. Mg - Cd - Y .....  | (195) |
| 64. Mg - Cd - Zn ..... | (197) |
| 65. Mg - Cd - Zr ..... | (198) |
| 66. Mg - Ce - Ga ..... | (199) |
| 67. Mg - Ce - La ..... | (200) |
| 68. Mg - Ce - Li ..... | (203) |
| 69. Mg - Ce - Mn ..... | (204) |
| 70. Mg - Ce - Si ..... | (207) |
| 71. Mg - Ce - Y .....  | (208) |
| 72. Mg - Ce - Zn ..... | (212) |
| 73. Mg - Cu - Ga ..... | (216) |
| 74. Mg - Cu - Li ..... | (217) |
| 75. Mg - Cu - Ni ..... | (218) |
| 76. Mg - Cu - Pb ..... | (221) |
| 77. Mg - Cu - Sb ..... | (223) |
| 78. Mg - Cu - Si ..... | (225) |
| 79. Mg - Cu - Sn ..... | (228) |



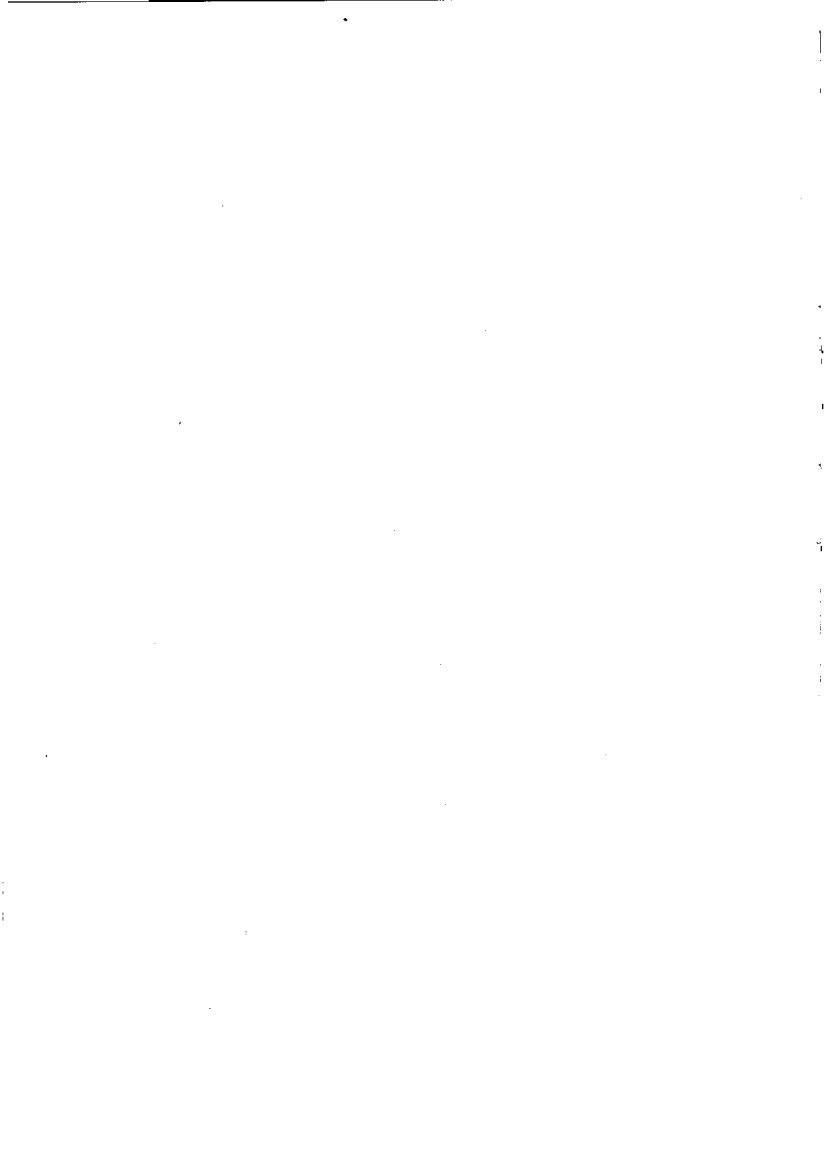
|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 80. Mg - Cu - Ti .....  | (231) |
| 81. Mg - Cu - Zn .....  | (232) |
| 82. Mg - Dy - Zn .....  | (234) |
| 83. Mg - Fe - Mn .....  | (238) |
| 84. Mg - Fe - Zr .....  | (239) |
| 85. Mg - Ga - In .....  | (240) |
| 86. Mg - Ga - La .....  | (241) |
| 87. Mg - Ga - Li .....  | (242) |
| 88. Mg - Ga - Pb .....  | (243) |
| 89. Mg - Ga - Sb .....  | (244) |
| 90. Mg - Ga - Sn .....  | (245) |
| 91. Mg - Gd - Sm .....  | (246) |
| 92. Mg - Gd - Y .....   | (250) |
| 93. Mg - Ge - Li .....  | (253) |
| 94. Mg - In - Li .....  | (254) |
| 95. Mg - In - Sb .....  | (255) |
| 96. Mg - In - Sn .....  | (256) |
| 97. Mg - In - Tl .....  | (257) |
| 98. Mg - La - Li .....  | (258) |
| 99. Mg - La - Ni .....  | (259) |
| 100. Mg - La - Y .....  | (263) |
| 101. Mg - La - Zn ..... | (266) |
| 102. Mg - La - Zr ..... | (269) |
| 103. Mg - Li - Pb ..... | (270) |
| 104. Mg - Li - Si ..... | (271) |
| 105. Mg - Li - Sn ..... | (272) |
| 106. Mg - Li - Tl ..... | (275) |
| 107. Mg - Li - Y .....  | (276) |
| 108. Mg - Li - Zn ..... | (278) |
| 109. Mg - Li - Zr ..... | (280) |
| 110. Mg - Mn - Nd ..... | (281) |
| 111. Mg - Mn - Ni ..... | (283) |
| 112. Mg - Mn - Sc ..... | (284) |
| 113. Mg - Mn - Si ..... | (286) |
| 114. Mg - Mn - Sn ..... | (287) |
| 115. Mg - Mn - Th ..... | (289) |
| 116. Mg - Mn - Ti ..... | (290) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 117. Mg - Mn - Y .....  | (291) |
| 118. Mg - Mn - Zn ..... | (292) |
| 119. Mg - Mn - Zr ..... | (294) |
| 120. Mg - Nd - Ni ..... | (295) |
| 121. Mg - Nd - Pr ..... | (297) |
| 122. Mg - Nd - Y .....  | (298) |
| 123. Mg - Nd - Zn ..... | (300) |
| 124. Mg - Nd - Zr ..... | (304) |
| 125. Mg - Ni - Pd ..... | (305) |
| 126. Mg - Ni - Pr ..... | (307) |
| 127. Mg - Ni - Zn ..... | (309) |
| 128. Mg - Pb - Sb ..... | (312) |
| 129. Mg - Pb - Sn ..... | (313) |
| 130. Mg - Pr - Y .....  | (315) |
| 131. Mg - Pr - Zn ..... | (317) |
| 132. Mg - Sb - Si ..... | (318) |
| 133. Mg - Sb - Sn ..... | (319) |
| 134. Mg - Se - Y .....  | (320) |
| 135. Mg - Si - Y .....  | (321) |
| 136. Mg - Sm - Y .....  | (322) |
| 137. Mg - Sm - Zn ..... | (326) |
| 138. Mg - Sn - Tl ..... | (329) |
| 139. Mg - Sn - Zn ..... | (330) |
| 140. Mg - Th - Zr ..... | (332) |
| 141. Mg - Tl - Zn ..... | (333) |
| 142. Mg - Y - Zn .....  | (334) |
| 143. Mg - Y - Zr .....  | (337) |
| 144. Mg - Zn - Zr ..... | (338) |
| 参考文献 .....              | (340) |

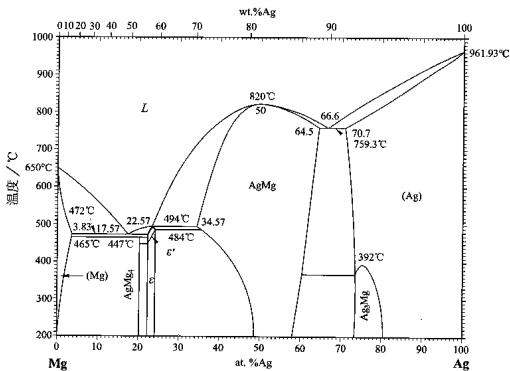
1

---

镁合金  
二元相图

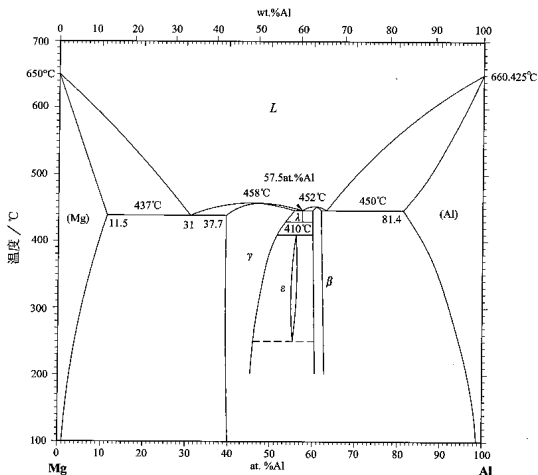


# 1. Mg - Ag



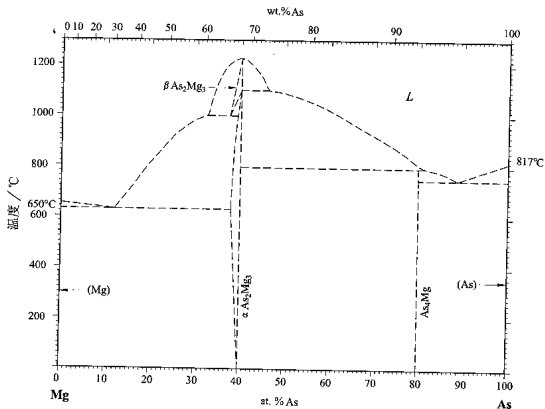
| 相                  | Ag 含量<br>(at. %) | Pearson<br>符号 | 空间群          | 结构<br>符号        | 结构<br>典型          | 晶格参数(nm) |   |        | 说明         |
|--------------------|------------------|---------------|--------------|-----------------|-------------------|----------|---|--------|------------|
|                    |                  |               |              |                 |                   | a        | b | c      |            |
| Mg                 | 0                | <i>hP2</i>    | $P6_3/mnc$   | A3              | Mg                | 0.3209   |   | 0.5211 |            |
| (Mg)               | 0 ~ 3.83         | <i>hP2</i>    | $P6_3/mnc$   | A3              | Mg                |          |   |        |            |
| AgMg <sub>4</sub>  | 20               | <i>hP*</i>    | ...          | ...             | ...               | 2.509    |   | 1.447  |            |
| s                  | 21.8 ~ 24.2      | <i>cF*</i>    | ...          | ...             | ...               |          |   |        |            |
| e'                 | 21.8 ~ 24.2      | <i>hI*</i>    | ...          | ...             | ...               |          |   |        |            |
| AgMg               | 34.57 ~ 64.5     | <i>cP2</i>    | $Pm\bar{3}m$ | B2              | CsCl              | 0.3314   |   |        | 50at. % Ag |
| Ag <sub>3</sub> Mg | 73 ~ 81.5        | <i>cP4</i>    | $Pm\bar{3}m$ | L1 <sub>2</sub> | AuCu <sub>3</sub> | 0.4112   |   |        | 75at. % Ag |
| (Ag)               | 70.7 ~ 100       | <i>cF4</i>    | $Fm\bar{3}m$ | A1              | Cu                | 0.4112   |   |        |            |
| Ag                 | 100              | <i>cF4</i>    | $Fm\bar{3}m$ | A1              | Cu                | 0.4086   |   |        |            |

## 2. Mg - Al



| 相                                             | Al 含量<br>(at. %) | Pearson<br>符号 | 空间群          | 结构<br>符号 | 结构<br>典型    | 晶格参数 (nm) |   |        | 说明            |
|-----------------------------------------------|------------------|---------------|--------------|----------|-------------|-----------|---|--------|---------------|
|                                               |                  |               |              |          |             | a         | b | c      |               |
| (Mg)                                          | 0 ~ 11.5         | <i>hP2</i>    | $P6_3/mmc$   | A3       | Mg          |           |   |        |               |
| $\gamma$ -Al <sub>12</sub> Mg <sub>17</sub>   | 37.7 ~ 56.8      | <i>cI58</i>   | $I\bar{4}3m$ | A12      | $\alpha Mn$ | 1.0481    |   |        | 47.42at. % Al |
|                                               |                  |               |              |          |             | 1.0531    |   |        | 43.45at. % Al |
|                                               |                  |               |              |          |             | 1.0579    |   |        | 39.51at. % Al |
| $\epsilon$ -Al <sub>30</sub> Mg <sub>23</sub> | 55.2 ~ 56.5      | <i>hR53</i>   | $R\bar{3}$   | ...      | ...         | 1.2825    |   | 2.1748 |               |
| $\lambda$                                     | 57.5             | ...           | ...          | ...      | ...         |           |   |        |               |
| $\beta$ -Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>      | 60 ~ 62.5        | <i>cF1832</i> | $Fd\bar{3}m$ | ...      | ...         | 2.8239    |   |        | 60.6at. % Al  |
| (Al)                                          | 81.4 ~ 100       | <i>cF4</i>    | $Fm\bar{3}m$ | A1       | Cu          |           |   |        |               |
| Al                                            | 100              | <i>cF4</i>    | $Fm\bar{3}m$ | A1       | Cu          | 0.4049    |   |        |               |

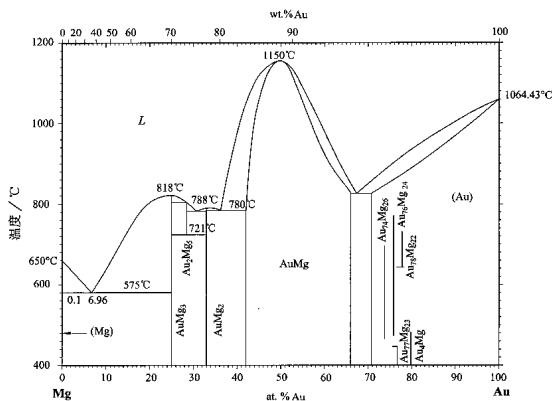
### 3. Mg - As



| 相                                      | As 含量<br>(at. %) | Pearson<br>符号 | 空间群          | 结构<br>符号 | 结构<br>典型                | 晶格参数 (nm) |   |        | 说明 |
|----------------------------------------|------------------|---------------|--------------|----------|-------------------------|-----------|---|--------|----|
|                                        |                  |               |              |          |                         | a         | b | c      |    |
| (Mg)                                   | 0                | <i>hP2</i>    | $P6_3/mmc$   | A3       | Mg                      | 0.3209    |   | 0.5211 |    |
| $\alpha\text{As}_2\text{Mg}_3$<br>(室温) | 38.5 ~ 40        | <i>hP5</i>    | $P\bar{3}m1$ | $D5_2$   | $\text{La}_2\text{O}_3$ | 0.4264    |   | 0.6738 |    |
| $\beta\text{As}_2\text{Mg}_3$<br>(高温)  | 38 ~ 40          | <i>cF80</i>   | $Ia\bar{3}$  | $D5_3$   | $\text{Mn}_2\text{O}_3$ | 1.235     |   |        |    |
| $\text{As}_4\text{Mg}$                 | 80               | <i>tP20</i>   | $P4_12_12$   | ...      | ...                     |           |   |        |    |
| (As)                                   | 100              | <i>hR2</i>    | $R\bar{3}m$  | A7       | $\alpha\text{As}$       | 0.3760    |   | 1.055  |    |

[1, 2, 11 - 14]

## 4. Mg - Au



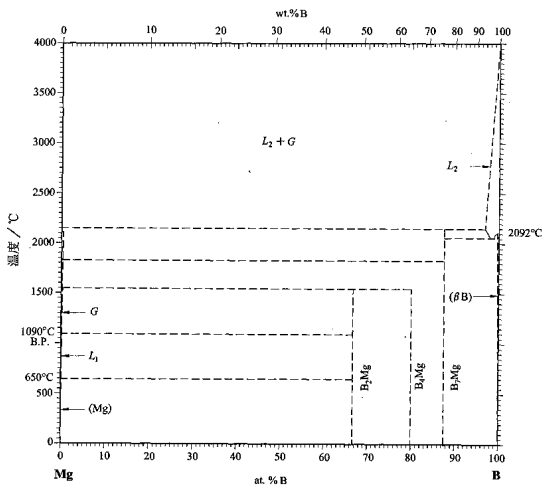
| 相                                 | Au 含量<br>(at. %) | Pearson<br>符号 | 空间群          | 结构<br>符号         | 结构<br>典型           | 晶格参数 (nm) |          |          | 说明         |
|-----------------------------------|------------------|---------------|--------------|------------------|--------------------|-----------|----------|----------|------------|
|                                   |                  |               |              |                  |                    | <i>a</i>  | <i>b</i> | <i>c</i> |            |
| (Mg)                              | 0 ~ 0.1          | <i>hP2</i>    | $P6_3/mmc$   | A3               | Mg                 | 0.3209    |          | 0.5211   |            |
| AuMg <sub>5</sub>                 | 25               | <i>hP8</i>    | $P6_3/mmc$   | DO <sub>18</sub> | Na <sub>3</sub> As | 0.4640    |          | 0.8460   |            |
| AuMg <sub>5</sub>                 | 33.3             | <i>oP108</i>  | $Pnma$       | ...              | ...                | 1.8378    | 1.3575   | 0.8265   |            |
| AuMg <sub>4</sub>                 | 42 ~ 67          | <i>cP2</i>    | $Pm\bar{3}m$ | B2               | CsCl               | 0.3266    |          |          | 50at. % Au |
| Au <sub>71</sub> Mg <sub>26</sub> | 74               | <i>oC160</i>  | $Cm2m$       | ...              | ...                |           |          |          |            |
| Au <sub>76</sub> Mg <sub>24</sub> | 76               | <i>oC64</i>   | $Cmcm$       | ...              | ...                |           |          |          |            |
| Au <sub>77</sub> Mg <sub>23</sub> | 77               | <i>hP108</i>  | $P6_3/mcm$   | ...              | ...                |           |          |          |            |
| Au <sub>78</sub> Mg <sub>22</sub> | 78               | <i>tI16</i>   | $I4/mmm$     | DO <sub>23</sub> | Al <sub>3</sub> Zr |           |          |          |            |
| Au <sub>13</sub> Mg <sub>4</sub>  | 79               | <i>mP38</i>   | $P2/m$       | ...              | ...                |           |          |          |            |
| Au <sub>4</sub> Mg                | 80               | ...           | ...          | ...              | ...                | 0.4073    |          | 1.630    |            |
| (Au)                              | 71 ~ 100         | <i>cF4</i>    | $Fm\bar{3}m$ | A1               | Cu                 |           |          |          |            |
| Au                                | 100              | <i>cF4</i>    | $Fm\bar{3}m$ | A1               | Cu                 | 0.4079    |          |          |            |

\* Not shown

[1,2,5,15,16]



## 5. Mg - B



| 相                 | B 含量<br>(at. %) | Pearson<br>符号 | 空间群         | 结构<br>符号 | 结构<br>典型          | 晶格参数 (nm) |        |        | 说明 |
|-------------------|-----------------|---------------|-------------|----------|-------------------|-----------|--------|--------|----|
|                   |                 |               |             |          |                   | a         | b      | c      |    |
| (Mg)              | 0               | <i>hP2</i>    | $P6_3/mmc$  | A3       | Mg                | 0.3209    |        | 0.5211 |    |
| B <sub>2</sub> Mg | 66.7            | <i>hP3</i>    | $P6/mmm$    | C32      | AlB <sub>2</sub>  | 0.3286    |        | 0.3522 |    |
| B <sub>4</sub> Mg | 80              | <i>oP20</i>   | $Pnam$      | ...      | ...               | 0.5464    | 0.4428 | 0.7472 |    |
| B <sub>7</sub> Mg | 87.5            | <i>oI64</i>   | $Imam$      | ...      | B <sub>7</sub> Mg | 0.5970    | 1.0480 | 0.8125 |    |
| (βB)              | 100             | <i>hR333</i>  | $R\bar{3}m$ | ...      | βB                | 1.0933    |        | 2.3825 |    |

[1,2,5,17]