

RE 及 Ni 对 Zn20Sn 高温无铅钎料 显微组织及性能的影响

李小军¹, 田 君¹, 戴品强^{1,2}, 王海燕²

(1. 福州大学, 福建 福州 350108)

(2. 福建工程学院, 福建 福州 350108)

摘 要: 在 Zn20Sn 高温无铅钎料合金中添加 0.1%RE 及 0.2%~0.8%Ni (质量分数, 下同), 研究了 RE 及 Ni 对钎料合金显微组织及性能的影响。结果表明, 在 Zn20Sn 中同时添加 0.1%RE 及 0.2%~0.8%Ni 后, 钎料合金的固相线变化不大, 而液相线温度降低; RE 及 Ni 对钎料合金的润湿性能及显微硬度有明显的影响, 当 RE 为 0.1%、Ni 为 0.4%时, 钎料合金的润湿性能最好、显微硬度最高; 随着 RE 及 Ni 的添加, 在钎料合金中形成了含 Ni 金属间化合物, 且随着 Ni 含量的提高, 金属间化合物的形状、钎料合金的组织结构发生显著变化。

关键词: 无铅钎料; Zn20Sn; 显微组织; 性能

中图分类号: TG425⁺.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2018)06-1860-06

钎料是微电子封装的主要连接材料。其中, 高温钎料已应用于倒装芯片封装、半导体和光学设备封装、半导体芯片连接、锡球连接以及半导体器件在基板上的连接^[1]。高温钎料的应用推动了汽车、航空、电信、航空电子产业和能源等行业的发展^[2]。目前, 使用的高温钎料一般为高铅钎料, 比如 95Pb-5Sn^[3]、90Pb-10Sn 及 95.5Pb-2Sn-2.5Ag^[4]等。然而, 铅是一种有毒物质, 对人体健康威胁非常大。为此, 人们从环境和保护人类健康出发, 在全世界范围内禁止或限制铅的使用量。欧盟已颁布 WEEE/RoHS 法令, 自 2006 年 7 月 1 日起全面禁止含铅钎料的使用^[5]。目前, 在中、低温钎料领域, 钎料的无铅化应用已经相当全面, 比如 Sn-Ag-Cu 钎料。但由于尚未找到与高铅钎料相媲美的无铅钎料, 高铅钎料仍在继续使用^[6,7]。随着环保的要求越来越高, 高温钎料无铅化是电子封装发展的必然趋势, 因此, 为替代高铅钎料, 研发新型无铅钎料及其他无铅互连工艺已成为业界的迫切需要。

高温无铅钎料中, Zn-Sn 合金钎料具有塑性好、导电导热性能好、成本低等优点, 是最有可能替代高温高铅钎料的合金之一^[7]。在 Zn-Sn 基钎料合金的基础上添加合金元素已显示出良好的影响, 研究表明, 钎料合金中添加微量合金元素对改善钎料性能作用明显^[8-11]。对于传统的无铅钎料, Ni 及稀土(RE)是常见

的合金元素。在无铅钎料中添加 Ni 可以降低合金的热膨胀系数^[12], 提高钎料合金的抗拉强度及剪切强度^[13], 并且显著影响钎料合金接头的显微组织结构及金属间化合物(IMC)的生长^[14]; RE 的添加可以增加钎料合金的剪切强度^[15-17], 降低液态钎料的表面张力, 促进钎料在基底的润湿^[18,19]。在 Zn-Sn 合金中同时添加 RE 及 Ni 有望改善钎料合金的性能, 但关于该方面的研究则较少报道。

本实验在 Zn20Sn 合金中同时添加元素 RE 及 Ni, 研究 RE 及 Ni 的添加对钎料合金显微组织和性能的影响。

1 实 验

实验采用 Zn20Sn 钎料合金为基体, 同时添加合金元素 RE(0.1%)及 Ni(0.2%, 0.4%, 0.8%), 记为 0.1RE 及 0.2Ni, 0.4Ni, 0.8Ni。所用原料为 Zn 粒、Sn 粒、Ni 丝、RE 块(Ce/La=65/35), 其纯度均在 99.8%以上。合金试样采用 SX-2.5-10 箱式电阻炉熔炼, 采用 KCl 和 LiCl 为保护剂, 比例为 1.3:1。为保证合金均匀度, 在熔炼过程中每隔 30 min 用石英玻璃棒充分搅拌, 2 h 后取出空冷, 得到钎料合金。各合金成分如表 1 所示。

采用 STA449F3 同步热分析仪测定钎料合金的熔化曲线。钎料合金质量约为 10 mg, 升温速率为 10 °C

收稿日期: 2017-06-30

基金项目: 福建省科技厅资助项目(2015H0008)

作者简介: 李小军, 男, 1991 年生, 硕士生, 福州大学材料科学与工程学院, 福建 福州 350108, 电话: 0591-22863280, E-mail: lixiaojun461@126.com

表 1 钎料合金的组成

Table 1 Composition of solder alloys (wt%)			
Solder alloy	Zn20Sn	RE	Ni
Zn20Sn	100	0	0
Zn20Sn0.1RE0.2Ni	99.7	0.1	0.2
Zn20Sn0.1RE0.4Ni	99.5	0.1	0.4
Zn20Sn0.1RE0.8Ni	99.1	0.1	0.8

/min，升温上限为 500 ℃，试验中采用高纯氩气保护。

采用铺展面积来评价钎料的润湿性能，试验参照国家标准 GB/T 11364-2008 进行。铺展试验采用尺寸为 40 mm×40 mm×0.2 mm 的紫铜片为基板，钎料合金质量为 0.2 g，偏差为±1%。用自制助焊剂作钎剂，由质量比为 1:1 的丁二酸与己二酸复配的有机酸活性剂、溶剂、缓蚀剂以及松香等配制而成。置于 440 ℃的箱式电阻炉中，保温 5 min，取出空冷。铺展试样用丙酮清洗，然后用扫描仪扫描铺展试样，利用 Auto CAD 软件精确测量钎料的铺展面积。每种钎料制备 3 个试样，取平均值作为该合金的铺展面积。

采用 DHV-1000 型显微维氏硬度计测试钎料合金的硬度，测试载荷为 1.96 N，加载时间为 15 s，每个样品选取 10 个不同的点进行测量取其平均值。

采用 XJP-200 光学显微镜及 S-3400N 型扫描电镜 (SEM)进行显微组织观察，并用 QUANTAX 能谱仪进行成分分析。采用 D8ADVANCE 型 X 射线衍射仪(XRD)对钎料合金进行物相检测。

2 结果与讨论

2.1 钎料合金的 DSC 曲线

钎料合金的 DSC 曲线如图 1 所示。图中，以第 1 个吸热峰的起始温度作为钎料合金的固相线温度，以第 2 个吸热峰的终止温度作为钎料合金的液相线温度。其中第 1 个吸热峰是 Zn-Sn 合金的共晶温度，第 2 个吸热峰是合金的液相线温度^[20]。DSC 分析结果如表 2 所示。结果表明，RE 及 Ni 的添加并未引起钎料合金发生其它相变，且对其固相线温度几乎没有影响，均约为 198.5 ℃；但添加 0.1RE 及 0.2Ni 后，钎料合金的液相线温度降低了 6.5 ℃，随着 Ni 含量继续增加，钎料合金的液相线温度变化不大。这一结果说明，在 Zn20Sn 中同时添加 RE 及 Ni，可以降低钎料合金的液相线温度，减小钎料合金凝固温度区间，有利于降低钎焊温度。

2.2 钎料合金的润湿性能

钎料合金的铺展面积如图 2 所示。由图 2 可以看出，Zn20Sn 钎料的铺展面积为 63.79 mm²，而 RE 及 Ni 的添加明显影响 Zn20Sn 钎料合金的润湿性能。当

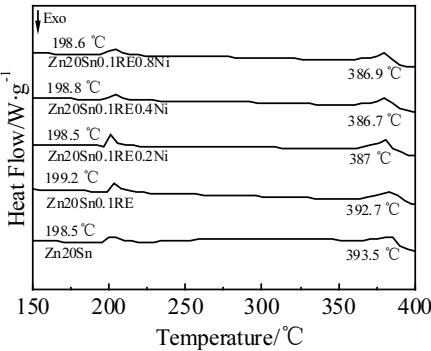


图 1 钎料合金的 DSC 曲线

Fig.1 DSC curves of solder alloys

表 2 钎料合金的固相线和液相线温度

Table 2 Solidus temperature and liquidus temperature of solder alloys (°C)		
Solder alloy	Solidus	Liquidus
Zn20Sn	198.5	393.5
Zn20Sn0.1RE0.2Ni	198.5	387.0
Zn20Sn0.1RE0.4Ni	198.8	386.7
Zn20Sn0.1RE0.8Ni	198.6	386.9

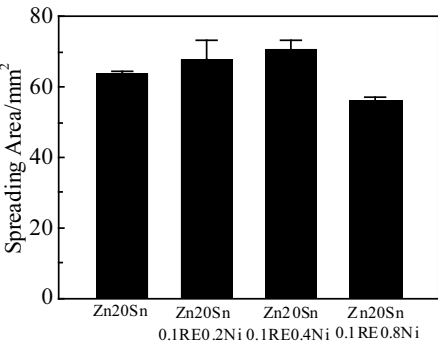


图 2 钎料合金的铺展面积

Fig.2 Spreading area of solder alloys

RE 为 0.1%、Ni 含量小于 0.4%时，钎料合金的铺展面积随 Ni 含量的增加而增加，当 Ni 含量为 0.4%时，钎料合金的铺展面积最大，达到 70.56 mm²；当 Ni 含量继续增加到 0.8%时，钎料合金的铺展面积减小到 55.74 mm²。

这是由于少量 Ni 的添加，可以降低钎料和 Cu 基板间的界面张力，提高润湿性^[21]，而且 RE 的添加也可降低液态钎料的表面张力，促进钎料在基底的润湿，使铺展面积增大；而另一方面，Ni 与 Zn 会在高温下发生反应，生成高熔点的 IMC，影响合金的润湿性。如图 3 所示，在添加 0.1RE 及 0.2~0.8Ni 过程中，当 Ni 的含量小于 0.4%时，形成 IMC 较少，在两种因素

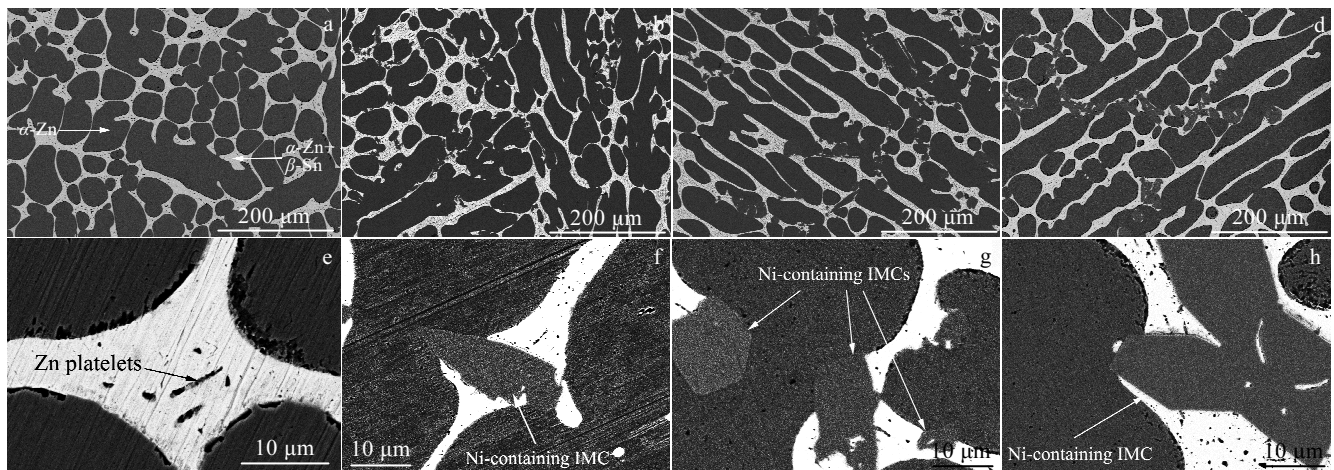


图 3 钎料合金的显微组织

Fig.3 Microstructures of solder alloys: (a, e) Zn20Sn; (b, f) Zn20Sn0.1RE0.2Ni; (c, g) Zn20Sn0.1RE0.4Ni; (d, h) Zn20Sn0.1RE0.8Ni

的综合作用下, 钎料合金的润湿性提高, 铺展面积增大; 当 Ni 的含量为 0.8% 时, 形成 IMC 较多, 钎料合金的润湿性降低, 铺展面积减小。

2.3 钎料合金的显微组织

钎料合金的显微组织如图 3 所示。其中, 图 3e、3f、3g、3h 分别为图 3a、3b、3c、3d 的放大图像。由图 3a、3e 可以看出, Zn20Sn 钎料合金的微观组织主要由 2 种结构组成。其中, 灰黑色的相结构为 α -Zn 相, 灰白色的相结构为共晶组织 (α -Zn+ β -Sn), α -Zn 相被共晶相 (α -Zn+ β -Sn) 所包围。共晶组织由 β -Sn 基体与分布于 β -Sn 基体中的针棒状 α -Zn 相构成^[20]。钎料中添加 RE 及 Ni 后, 基体中形成了金属间化合物 (IMC), 而且 IMC 的形状、数量和大小等特性随着 Ni 含量的增加而显著变化。当 Ni 含量为 0.2% 时, IMC 为细小的不规则形状; 当 Ni 含量为 0.4% 时, IMC 数量增加, 尺寸更大, 主要呈现为规则的三角形、菱形、六边形等形状; 当 Ni 含量为 0.8% 时, IMC 的数量明显增多, 体积变大, 为不规则形状。由 EDS 成分分析结果知, 当 Ni 为 0.2% 时, 其 IMC 含有 92.2%Zn, 7.8%Ni, 不存在 La 和 Ce 元素, 而在共晶组织 (α -Zn+ β -Sn) 中发现存在少量的 La (1.07%); 当 Ni 为 0.4% 时, IMC 含有 92.12%Zn, 6.47%Ni, La、Ce 元素含量可以忽略不计; 当 Ni 为 0.8% 时, IMC 含有 80.74%Zn, 15.27%Ni 以及 3.84%Sn, La 和 Ce 元素含量可以忽略不计。这表明, 在钎料合金中同时添加 0.1%RE 及 0.2%~0.8%Ni 后, 所形成的 IMC 主要为 Ni 和 Zn 组成, 而根据 La-Zn、La-Sn、Ce-Sn 和 Ce-Zn 相图, La 和 Ce 几乎不固溶于 Zn 及 Sn 中, 而更易于形成 IMC, 但在组织观察时并没发现存在含 La 或 Ce 的 IMC。其

原因可能是 RE 的添加量少, 在钎料合金中可能形成了 IMC, 但由于其数量少且过于细小而没能观察到。

由于 IMC 几乎为 Zn、Ni 组成, 根据如图 4 所示的 Zn-Ni 相图^[22,23], 并结合 EDS 成分分析结果可知, 当 Ni 含量为 0.2% 及 0.4% 时, Zn 及 Ni 所形成组织应由 Zn 相和 δ 相 ($\text{Ni}_3\text{Zn}_{22}$) 组成, 推测此时所形成的 IMC 为 δ 相 ($\text{Ni}_3\text{Zn}_{22}$); 而当 Ni 含量为 0.8% 时, Zn 及 Ni 所形成组织应为 γ 相 ($\text{Ni}_2\text{Zn}_{11}$), 推测此时所形成的 IMC 为 γ 相 ($\text{Ni}_2\text{Zn}_{11}$)。为进一步明确钎料合金的各个物相组成, 对 Zn20Sn 及 Zn20Sn0.1RE0.8Ni 钎料合金进行了 X 射线衍射分析, 其结果如图 5 所示。可以看出, 图中只有 Zn 和 Sn 的衍射峰, 并没有发现 δ 或 γ 相的衍射峰。而文献[12]发现, 在 Zn 中添加质量分数为 1.5% 的 Ni 后, 其 XRD 图谱中可以明显观测到 Zn 和 γ 相, 并且 γ 相是检测出的唯一的金属间化合物

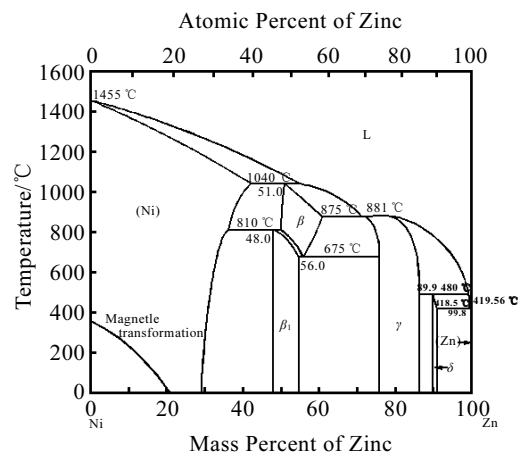


图 4 Zn-Ni 相图

Fig.4 Zn-Ni phase diagram^[22,23]

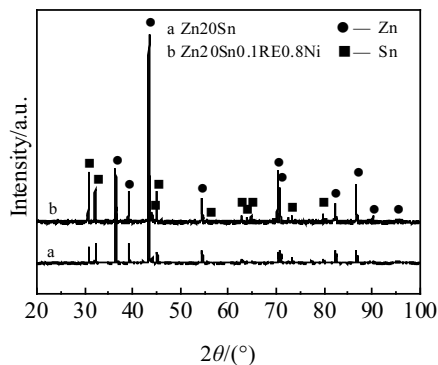


图5 钎料合金的 XRD 图谱

Fig.5 XRD patterns of the solder alloy

相。因此,在 XRD 图谱中没有观察到金属间化合物衍射峰的可能原因是其含量较少。

为进一步了解 RE 及 Ni 的添加对 Zn20Sn 钎料合金显微组织及 IMC 形态的影响,将钎料合金置于 5% HCl +95% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (体积分数)溶液中浸泡 10 min,去除掉部分 α -Zn 相,使钎料合金的组织结构和 IMC 更为直观,结果如图 6 所示。其中,图 6e、6f、6g、6h 分别为图 6a、6b、6c、6d 中 α -Zn 的横向三维结构示意图。从图中可以看出,Zn20Sn 钎料合金的组织结构为典型的树枝状结构,但随着 RE 及 Ni 的添加,结合图 3a~3d,可以发现其树枝状结构的形态有明显变化。以 α -Zn 为例,Zn20Sn 合金中 α -Zn 的一次晶轴及二次晶轴的形态与位向都比较零乱,二次晶轴间距较大;随着 RE 及 Ni 的添加,当 RE 为 0.1%、Ni 为 0.2%时,

α -Zn 的一次晶轴与二次晶轴都有一定程度的柱状化,变得更为细长,而且二次晶轴的间距减小,数量增加;当 RE 为 0.1%、Ni 为 0.4%时, α -Zn 的枝晶柱状化更为明显,二次晶轴更为紧密;而当 RE 为 0.1%、Ni 为 0.8%时, α -Zn 的二次晶轴完全转变为细长的柱状,二次晶轴也更为细密。用直线切割法测量二次晶轴间距,其结果如图 7 所示。从图中可以看出,Zn20Sn 合金中 α -Zn 二次晶轴间距最大,当添加了 0.1%RE 后,随着 Ni 含量增加, α -Zn 的二次晶轴间距逐渐减小。

通常来说,合金元素在合金中一般以 3 种形式存在:固溶于基体合金中;偏聚在晶界或相界面处;形成金属间化合物(IMC)。根据 La-Zn、La-Sn、Ce-Sn、Ce-Zn、Ni-Zn 和 Ni-Sn 相图可知,La、Ce 及 Ni 在 Zn 及 Sn 中几乎没有固溶度,随着 RE 及 Ni 的添加,在合金凝固过程中,这些溶质原子被排挤出固相而大量富集于液/固界面前沿的液相中,使得液/固相之间的界面张力降低,抑制了枝晶的长大,同时使枝晶尖端溶质元素发生再分配,增加成分过冷,降低了形成临界尺寸晶核所需的功,从而加剧了枝晶的分歧过程,促进了枝晶的生长,从而使 α -Zn 的二次枝晶间距明显减小^[24-28]。另外,二次枝晶臂的发达程度随成分过冷度和过冷区的增加而愈加发达,而成分过冷度和过冷区又随溶质含量的增加而增加。因此,在添加了 0.1%RE 后,随着 Ni 含量的增加,促进了合金二次枝晶臂的生长。

由 DSC 测试结果知,共晶组织(α -Zn+ β -Sn)的共晶温度约为 198.5 $^{\circ}\text{C}$,而液相线温度即为 α -Zn 的熔化温度。因此,在钎料合金凝固过程中, α -Zn 先凝固,溶质原子被排挤出 α -Zn 而富集于液相(共晶组织)中,

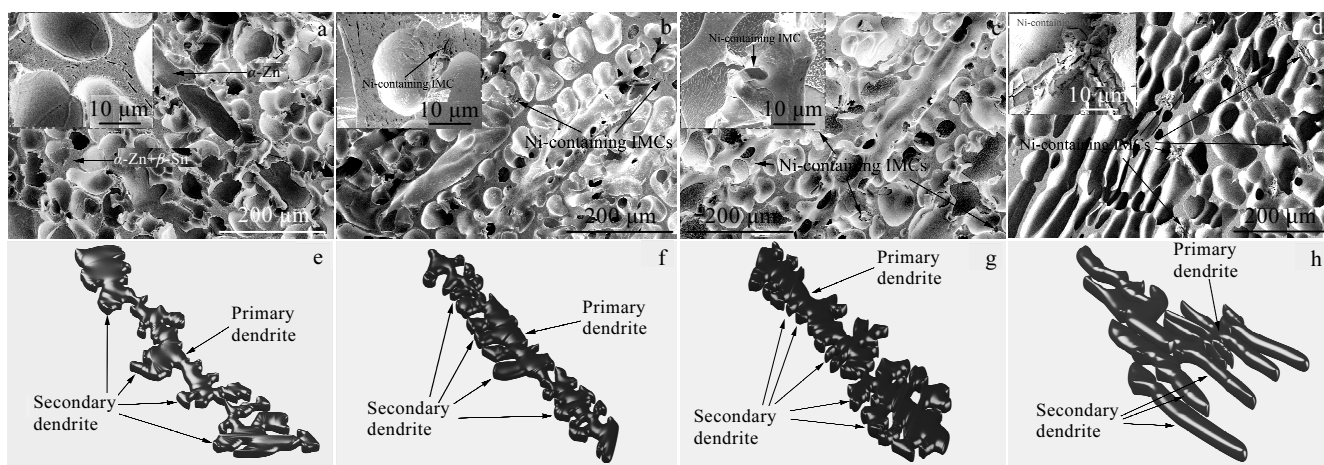


图6 钎料合金组织形态的 SEM 照片及示意图

Fig.6 SEM images of morphologies of solder alloys and corresponding schematic representation of α -Zn phase: (a, e) Zn20Sn, (b, f) Zn20Sn0.1RE0.2Ni, (c, g) Zn20Sn0.1RE0.4Ni, and (d, h) Zn20Sn0.1RE0.8Ni (the inset images of Fig.5a~5d show the high-magnification images of solder alloys)

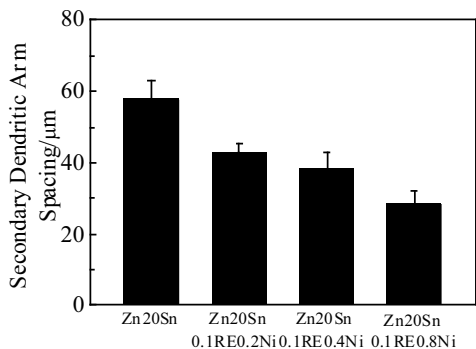


图 7 钎料合金二次晶轴间距

Fig.7 Secondary dendritic arm spacing of the solder alloys

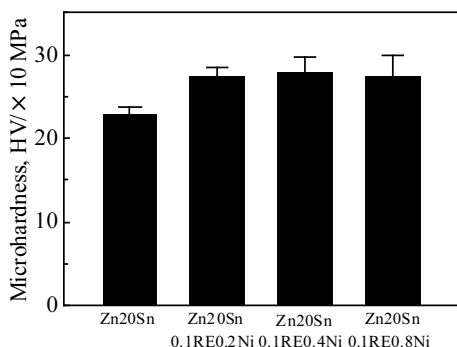


图 8 钎料合金的显微硬度

Fig.8 Microhardness of solder alloys

当固液界面溶质原子浓度达到一定程度时, 会与 Zn 反应析出化合物 (IMC)。因此, 钎料合金的 IMC 由 α -Zn 边缘处生长, 并向共晶组织 (α -Zn+ β -Sn) 中延伸, 如图 3 及图 6 所示。此外, 在 Ni 为 0.4% 时, 如图 6c 所示, 可以明显看到 IMC 为菱形棒状; Ni 为 0.8% 时, 从图 6d 中看出, 其 IMC 呈树枝状生长。

2.4 钎料合金的显微硬度

钎料合金的显微硬度如图 8 所示。从图中可以看出, Zn20Sn 的硬度为 228 MPa, 当添加 0.1%RE 及 0.2%Ni 后, 钎料合金的显微硬度为 274 MPa, 比 Zn20Sn 的硬度提高了 21.5%。再继续提高 Ni 含量, 当 Ni 含量为 0.4% 和 0.8% 时, 钎料合金的显微硬度分别为 277 和 272 MPa, 相比 0.1RE0.2Ni 时变化不大。通常, 合金的硬度与合金的组织形态、第二相的存在形态、分布及数量有关。添加 RE 及 Ni 后形成了弥散分布的金属间化合物, 产生显著的强化作用。因此, 钎料合金的显微硬度得到提高。

3 结 论

1) 添加 RE 及 Ni 对 Zn20Sn 钎料合金的固相线温

度影响不大, 都在 198.5 °C 左右; 当添加 0.1%RE、0.2%Ni 时, 钎料合金的液相线温度降低了 6.5 °C, 且随 Ni 含量继续增加, 钎料合金的液相线温度与 Ni 为 0.2% 时相比变化不大。

2) 添加 RE 及 Ni 有利于提高 Zn20Sn 钎料合金的润湿性能及显微硬度, 在 RE 为 0.1%, Ni 为 0.4% 时, 钎料合金的铺展面积最大, 润湿性能最好, 显微硬度最高。

3) 随着 Ni 及 RE 的添加, 钎料合金的树枝晶结构由零乱的形态逐渐变为均匀一致的形态, Ni 及 RE 促进了枝晶的生长。

4) 当添加 0.1%RE 及 0.4%Ni 后, 钎料合金的液相线温度降低, 润湿性能最好。综合分析, 确定了在 RE 的含量为 0.1% 的情况下, Ni 的最佳添加量为 0.4%。

参考文献 References

- [1] Zeng G, McDonald S, Nogita K. *Microelectronics Reliability* [J], 2012, 52(7): 1306
- [2] Musa S A, Mohd Salleh M A A, Norainiza S. *Advanced Materials Research*[J], 2013, 795: 518
- [3] Chen C M, Wang K J, Chen K C. *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2007, 432(1-2): 122
- [4] McCluskey F P, Dash M, Wang Z *et al.* *Microelectronics Reliability*[J], 2006, 46(9-11): 1910
- [5] Menon S, George E, Osterman M *et al.* *Journal of Materials Science Materials in Electronics*[J], 2015, 26(6): 4021
- [6] Niu X, Lin K L. *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2015, 646: 852
- [7] Kim S, Kim K S, Suganuma K *et al.* *Journal of Electronic Materials*[J], 2009, 38(6): 873
- [8] Lin Wanyi(林宛仪). *Dissertation for Materials*(硕士论文)[D]. Tainan: National Cheng Kung University, 2011
- [9] Zhao Kuaile(赵快乐). *Dissertation for Materials*(硕士论文)[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2011
- [10] Takahashi T, Komatsu S, Nishikawa H *et al.* *Journal of Electronic Materials*[J], 2010, 39(8): 1241
- [11] Liu C W, Lin K L. *Journal of Electronic Materials*[J], 2014, 43(12): 4502
- [12] Mallick S, Kabir M S, Sharif A. *Journal of Materials Science Materials in Electronics*[J], 2016, 27(4): 3608
- [13] Wang W L, Yang Y F. *Materials Research Innovations*[J], 2015, 19(5): 1102
- [14] Zeng G, McDonald S D, Gu Q *et al.* *Acta Materialia*[J], 2015, 83: 357

- [15] Xing F, Shang Q, Lu Y *et al.* *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2016, 666: 122
- [16] Zhang Keke(张柯柯), Han Lijuan(韩丽娟), Wang Yaoli(王要利) *et al.* *Journal of Materials Engineering*(材料工程)[J], 2010(10): 18
- [17] Wang Yaoli(王要利), Zhang Keke(张柯柯), Liu Shuai(刘帅)*et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2010, 39(1): 117
- [18] Lv Juan(吕娟), Zhao Maiqun(赵麦群), Wang Xiuchun(王秀春) *et al.* *Electronic Components and Materials*(电子元件与材料)[J], 2009, 28(8): 39
- [19] Wang Shuangqi(王双其), Zhang Keke(张柯柯), Fan Yanli(樊艳丽) *et al.* *Hot Working Technology*(热加工工艺)[J], 2006, 35(11): 55
- [20] Lee J E, Kim K S, Suganuma K *et al.* *Materials Transactions*[J], 2005, 46(11): 2413
- [21] Wu Xiaojing(吴晓婧), Xue Feng(薛烽), Zhou Jian(周健) *et al.* *Journal of Southeast University, Natural Science Edition*(东南大学学报, 自然科学版)[J], 2009, 39(3): 623
- [22] Su X, Tang N Y, Toguri J M. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*[J], 2002, 23(2): 140
- [23] Huang Kailian(黄开连), Tang Yiyuan(唐轶媛), Nong Liang-qin(农亮勤). *Physics Experimentation*(物理实验)[J], 2010, 30(4): 8
- [24] Liao Hengcheng(廖恒成), Ding Yi(丁毅), Sun Guoxiong(孙国雄). *Acta Metallurgica Sinica*(金属学报)[J], 2002, 38(3): 245
- [25] Zhang Hongjun(张洪军), Hua Qin(华勤), Li Renxing(李仁兴) *et al.* *Foundry*(铸造)[J], 2007, 56(8): 868
- [26] Liu Yonggang(刘永刚), Zhang Liangming(张良明), Chen Guang(陈光) *et al.* *Nonferrous Metals*(有色金属工程)[J], 2005, 57(2): 15
- [27] Yao Lijuan(姚丽娟), Jian Zengyun(坚增运), Zhu Man(朱满) *et al.* *Foundry*(铸造)[J], 2016, 65(2): 166
- [28] Xiong Junjie(熊俊杰), Yan Hong(闫洪), Jie Xiaoping(揭小平). *Materials Science and Technology*(材料科学与工程)[J], 2016, 24(1): 18

Influence of RE and Ni on Microstructure and Properties of Zn20Sn High-temperature Lead-Free Solder

Li Xiaojun¹, Tian Jun¹, Dai Pinqiang^{1,2}, Wang Haiyan²

(1. Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

(2. Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China)

Abstract: 0.1wt% RE and 0.2wt%~0.8wt% Ni were added into Zn20Sn high-temperature lead-free solders. The effects of RE and Ni additions on the microstructure and properties of the solder alloys were investigated. The results show that the solidus temperature of solder alloys is not distinctly affected when the 0.1 wt% RE and 0.2wt%~0.8wt% Ni are added into Zn20Sn solder alloys, whereas the liquidus temperature decreases, the wettability and microhardness significantly improve. The solder alloy shows the best wettability and the highest microhardness when the content of RE is 0.1wt% and Ni is 0.4wt%. Ni-containing intermetallic compounds form in solder alloys and the amount of intermetallic compounds gradually increases with increasing Ni content, and the shape of intermetallic compounds and the microstructure of solder alloys change markedly.

Key words: lead-free solder; Zn20Sn; microstructure; properties

Corresponding author: Dai Pinqiang, Ph. D., Professor, Department of Materials Science and Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, P. R. China, Tel: 0086-591-22863280, E-mail: pqdai@126.com