

FeNi42 引线框架材料的研究进展*

付 锐¹, 冯 涛¹, 陈希春¹, 朱筱北²

(1 钢铁研究总院高温材料研究所, 北京 100081; 2 宁夏东方钽业股份有限公司, 石嘴山 753000)

摘要 FeNi42 合金常被用于制作高可靠性陶瓷封装集成电路的引线框架。随着集成电路向高集成度、多功能化和小型化方向发展, 其引线数增多、引线间距减小, 因此对引线框架材料的强度和冲裁加工性能提出了更高的要求。主要概述了为提高引线框架用 FeNi42 合金薄带强度和冲裁加工性能方面的研究进展, 指出合金中非金属夹杂物的数量、尺寸和分布对带材性能有重要的影响, 同时分析了国产该材料存在的主要问题。

关键词 引线框架材料 FeNi42 合金 集成电路

The Research Development of FeNi42 Leadframe Material

FU Rui¹, FENG Di¹, CHEN Xichun¹, ZHU Xiaobei²

(1 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081; 2 Ningxia Orient Tantalum Industry Co. Ltd, Shizuishan 753000)

Abstract FeNi42 alloy is usually used to make lead frame of high-reliable IC packaged by ceramic. With the development of IC to high density, multifunction and miniaturization, the amount of lead increase, and lead pitch space decreases, which demand high strength and excellent punchability for leadframe materials. In this paper, the current status of research on how to improve the strength and punchability of FeNi42 leadframe material is summarized, and the effects of nonmetallic inclusions on the strip properties are pointed out. At the same time, the main problems of domestic FeNi42 leadframe materials are analyzed.

Key words leadframe materials, FeNi42 alloy, IC

0 前言

自 1958 年美国德克萨斯仪器公司和仙童公司发明半导体集成电路(IC)后, 近半个世纪以来, IC 得到了迅速发展, 经过小规模、中规模时代后, 现已进入超大规模和特大规模集成电路时代。目前, 以集成电路为基础的电子信息产业已成为世界第一大产业, 集成电路不仅成为现代产业和科学技术的基础, 而且正创造着代表信息时代的硅文化^[1]。

集成电路由半导体芯片和引线框架经封装而成, 其中引线框架既是集成电路的骨架又是半导体芯片与外界的连接电路, 同时它还是芯片的散热通道, 因此引线框架是集成电路重要的组成部分。目前常用的引线框架材料有铜合金和 FeNi42 合金, 由于 FeNi42 合金与硅和氧化铝陶瓷的热膨胀系数较匹配, 又具有良好的机械性能和加工成型性, 因此常被用于制作高可靠性陶瓷封装 IC 的引线框架。

引线框架在集成电路内部与硅芯片封装部分直接接触, 为保证集成电路的可靠性和耐久性, 对引线框架材料有一系列的性能要求, 包括一次特性和二次特性。一次特性是指引线框架设计、加工所需要的材料特性, 它包括物理、机械等方面的性质, 约 15 项; 二次特性是指与封装可靠性有关的特性, 主要包括电镀、钎焊、耐蚀等方面的性质, 共 35 项^[2]。近年来, 随着集成电

路向高集成度、多功能化和小型化方向发展, 其引线数增多、引线间距缩短, 因此对引线框架材料及引线框架的制造技术提出了更新、更多、更严格的要求^[3]。

1 引线框架材料的发展及使用现状

自集成电路问世以来, 所用的引线框架材料也得到了很大发展, 用量愈来愈大, 新材料不断出现。在较长一段时期里, 可伐合金(Fe29Ni17Co)作为 IC 引线框架材料曾占绝对优势, 但从 1978 年世界性经济危机爆发以来, 可伐合金价格暴涨, 导致其代用品 FeNi42 合金的大量应用^[4], FeNi42 合金的物理和机械性能见表 1^[5]。进入 20 世纪 80 年代以来, 铜合金以其低廉的价格和良好的导热、导电性进入了集成电路引线框架材料之列, 发展迅速^[6~12], 成为民用集成电路主要的引线框架材料, 而 FeNi42 合金主要用于制作工业应用集成电路的引线框架。表 2 为可伐合金、FeNi42 合金和铜合金优缺点对比^[4]。

表 1 FeNi42 合金的物理和机械性能^[5]

合金成分 wt%	抗拉强 度/MPa	延伸率 %	电导率 IACS%	硬度 HV	导热率 W/(m·K)	热膨胀系数(20~ 300℃)/×10 ⁻⁶
Fe-42Ni-0.8 Mn-0.3Si	650	8~10	3	200	0.04	4.3

* 国家“863”计划资助项目(2003AA33X150)

付锐, 男, 1979 年生, 博士研究生 Tel: 010-62182410 E-mail: furui208@sina.com 冯涛, 男, 1944 年生, 教授, 博导 Tel: 010-62481342 E-mail: fengdi@esuperalloy.com

表2 IC引线框架材料比较^[4]

材料	优点	缺点	待解决的问题
Fe29Ni17Co合金	强度高,可保证电路的可靠性	价格昂贵,导电导热性差	返回料利用
FeNi42	强度高,可保证电路的可靠性	价格贵,导电导热性差	返回料利用
铜系合金	导电导热性好,复镀性好,价廉	一般强度低,可靠性差	提高强度以满足特殊用途集成电路需要

2 引线框架用 Fe-Ni 合金的研究现状

近年来,随着集成电路向高集成度、多功能化和小型化方向发展,所需要的引线框架也越来越复杂,引线间距由 2.54mm (引线数最大限为 64) 缩小到 1.27mm 甚至 0.5mm 以下(引线数多达 200 以上),引线框架带材的厚度由 0.25mm 发展到 0.08mm^[12],因此对引线框架材料的强度和冲裁加工等性能提出了更高的要求。为了克服 FeNi42 合金带材的不足并制造具有大量引线的集成电路,各国的科研工作者在提高 FeNi42 合金薄带强度和冲裁性能方面做了大量的研究工作^[13~26]。

2.1 高强度引线框架用 Fe-Ni 合金的开发

金属材料的强化方式包括细晶强化、形变强化、固溶强化和第二相强化等。除细晶强化外,其它强化方式都能使材料的塑性有不同程度的降低,因此在提高 FeNi42 合金强度的同时,要保证材料具有合适的塑性,同时还要研究不同强化方式对材料其它使用性能的影响。

形变强化是指金属经塑性变形而引起的强化现象。金属经塑性变形后,强度提高,塑性降低。通过增加 FeNi42 合金成品轧制时的变形量可以提高带材的强度,但材料的塑性降低不适合弯曲成型,并且导致强化后合金的热膨胀系数增大。

固溶强化是指由于晶格内溶入异类原子引起晶格发生畸变而使金属强化的现象。对 Fe-Ni 合金进行固溶处理的常用元素有 Nb、Zr、Ta、W、Mo 和 Co 等,这些元素的加入不仅能起固溶强化的作用,而且会使材料的晶粒细化并加快加工硬化速度。日本大同特殊钢研究中心的失萩慎一郎等^[13]通过对比合金中加入不同元素后的强度、抗腐蚀性和热膨胀系数等,研制出综合性能良好的 Fe-40Ni-3Nb 合金。该合金成品带材的硬度达到 HV275,抗拉强度近 900MPa,延伸率 8.6%,重复弯曲次数平均 6.5 次,其它性能也都符合引线框架材料的要求,可以代替一部分 FeNi42 合金。第二相弥散强化也是 Fe-Ni 合金常用的强化方式,它通过在合金中添加强化相形成元素并经适当的热处理使强化相均匀、弥散析出,从而提高合金的强度。材料再结晶过程中,弥散析出的第二相还会抑制晶粒的长大,起到细化晶粒的作用。Fe-Ni 合金常用的增强相有 γ' 或 γ'' 相和碳化物等^[14~18]。 γ' 或 γ'' 相强化是指在合金中添加 Be、Ti、Al 或 Nb 等元素并采用适当的热处理制度使 γ' 或 γ'' 相在合金基体中均匀析出从而提高材料的强度,但是与强化前的合金相比,这些合金的表面氧化敏感性较大,电镀性能下降。

在 Fe-Ni 合金中添加 Ti、Zr、Nb、Cr、Mo 等碳化物形成元素,同时调整合金中的碳含量,采用适当的热处理制度使碳化物在合金基体中均匀、弥散析出从而使合金得到强化。但合金中

碳化物的存在同样会对材料的电镀性能产生不利的影 响,因此要严格控制合金中碳化物的数量和尺寸并配合其它强化方法得到性能符合要求的材料。法国学者 R. 科扎等^[14]通过在合金中掺入少量 Cr 和 Mo 的碳化物并经适当的加工硬化处理得到延伸率大于 7%、屈服强度超过 800MPa,抗拉强度超过 900MPa 的合金带材,同时该带材还具有良好的冲裁加工性和电镀性。

2.2 提高 FeNi42 引线框架带材冲裁性能的研究进展

IC 元件的多功能化要求大量增加 I/O 使用的引线根数,需要多管角的引线框架,这些多管角引线框架的引线宽度和引线间距都非常小,因此对引线框架的冲裁精度提出了更严格的要求,包括冲裁毛刺的尺寸和冲裁后引线的形位公差。为了提高材料的冲裁精度,应同时研究两个课题:①如何减小冲裁毛刺的尺寸,因为伴随引线间距的减小,产生毛刺的部位容易发生短路事故,造成重大损失;②控制冲裁后引线的形位公差,冲裁后引线的形位公差超标会给芯片的封装造成困难,甚至使集成电路报废,降低成品率。对于上述两个课题,需要从冲裁加工工艺和材料性能方面做系统的研究。近年来,由于引线框架的冲裁工艺已基本固定,因此,如何在固定的冲裁工艺下减小冲裁毛刺的尺寸,提高冲裁后引线的形位精度,成为研究的热点^[19~21]。

毛刺是由于在冲裁过程中生成裂纹的起点不在模具刃口的尖端,而是在拉应力场的影响下,向凹模刃口侧面稍向下的位置偏移造成的,它的产生通常是不可避免的。冲裁时裂纹的起源点越靠近模具刃口尖端,形成毛刺的尺寸就越小。因此通过向材料中添加易切削元素 S,生成细小的 MnS,从而适当降低材料的塑性,提高冲裁时材料整体的裂纹敏感性,有利于抑制冲裁毛刺的形成^[19,20]。有时按规定的百分数加入 S 元素不足以控制冲裁毛刺的尺寸和数量,而且 S 的加入会降低材料的抗腐蚀性,因此在控制材料中 S 含量的同时,还应向合金中添加增强元素或增强相,以赋予合金更高的硬度和适当的脆性,从而达到减少毛刺的目的^[21]。均匀分布的小尺寸夹杂物有利于抑制冲裁毛刺的形成^[22],而合金中存在的大颗粒脆性夹杂物往往是形成大尺寸毛刺的重要原因。由于脆性夹杂物与金属基体的变形不协调,在材料加工变形过程中很容易在夹杂物与基体界面产生孔洞,夹杂物尺寸越大,则孔洞也就越大。在材料冲裁过程中,如果在冲裁变形区存在这种夹杂物,就会对冲裁裂纹的起源和扩展产生重要的影响,使材料断裂的位置发生偏移,导致形成大尺寸毛刺。这种大尺寸毛刺虽然数量较少,但它的危害大,往往是集成电路报废的主要原因,因此严格控制合金中夹杂物的数量、尺寸和分布对于减少冲裁毛刺的产生有重要作用。

对于结构复杂、引线较多的框架,如果引线的形位公差符合要求,将会给以后的芯片封装造成困难,甚至导致集成电路报废。冲裁后引线的偏移是由引线框架带材残余应力大且分布不均匀引起的,因此控制引线框架带材残余应力的大小和分布有利于提高冲裁后引线的形位精度^[23]。在引线框架带材的加工过程中产生残余应力的加工步骤主要是冷轧过程,而起调整和消除残余应力的加工步骤包括带材的拉弯矫直和去应力退火,各加工步骤的顺序不同对成品带材残余应力的大小和分布有重要的影响^[24~26]。

为最大限度地减小成品带材的残余应力并使其分布均匀,一方面要控制冷轧过程中产生的残余应力的大小和分布,另一方面要通过拉弯矫直和去应力退火,在满足带材使用性能的条件

件下,最大限度地消除残余应力。控制冷轧过程中产生的残余应力主要应做到以下两点,(1)控制冷轧工艺,包括总加工率、道次加工率和轧制张力等;(2)控制合金板材的均匀性,包括组织均匀性和合金中非金属夹杂物数量、尺寸和分布的均匀性等。合适的轧制工艺既能保证板材轧制后的尺寸精度,又能在一定程度上控制残余应力的方向和大小。板材的组织均匀使轧制变形抗力保持一致,有利于获得均匀的残余应力分布。由于夹杂物与金属基体的变形不协调,在轧制过程中,大颗粒夹杂物附近容易产生应力集中而产生较大的残余应力,从而使轧制后板材的残余应力分布不均;而均匀、弥散分布的夹杂物不仅不会对残余应力的分布产生不利影响,而且在合金再结晶过程中还可以起到抑制异常晶粒长大的作用,使合金获得均匀的组织。因此,严格控制合金中夹杂物的数量、尺寸和分布对控制轧制后残余应力的分布具有重要作用。去应力退火是消除残余应力的关键步骤,通过调整退火温度、保温时间、张力大小和保护气氛等条件,在保证引线框架带材满足强度、硬度、板形等要求的基础上,消除残余应力。

从上面的分析可以看出,为提高 FeNi42 引线框架带材的冲裁精度,除优化加工工艺外,控制材料中非金属夹杂物数量、尺寸和分布的均匀性同样是非常重要的。

3 我国引线框架用 FeNi42 合金带材的研究现状与存在的问题

为适应我国集成电路事业的发展,在“八五”期间,国家计委就下达了引线框架用 FeNi42 合金带材国产化攻关项目,由上海钢铁研究所和陕西钢铁研究所等单位联合攻关。经过多年的努力成功解决了 FeNi42 合金在使用过程中的大部分问题,但与进口带材相比,还存在不小的差距。主要表现在以下几个方面:(1)带材表面质量不符合要求。引线框架带材是一种高精密薄带,它对材料表面的要求非常苛刻,不仅要求表面没有锈蚀、划伤等缺陷,而且要求表面没有灰尘和玷污。(2)带材的公差不符合要求,尤其是厚度公差超标。这使带材不能满足引线框架连续化生产线的要求。(3)冲裁毛刺超标。这导致带材在使用过程中,伴随引线的增多和引线间距的减小,产生毛刺部位容易发生短路事故,造成重大损失,因此,对于引线框架带材要严格控制冲裁毛刺的数量和尺寸。(4)冲裁后引线框内引线的形位公差符合要求。冲裁后引线的偏移给以后的芯片封装造成困难,而且有可能使集成电路报废,成品率降低。

产生这些问题的原因是多方面的,包括冶炼、冷热加工、热处理、带材的分剪和冲裁等各个步骤。因此,要解决国产带材存在的问题,既要调整冶炼工艺控制合金中非金属夹杂物的类型、数量、尺寸和分布,又要严格控制每一步加工工艺,改善成品带材的尺寸精度和冲裁精度,并且尽量做到生产线的连续化和自动化,避免材料表面被划伤和玷污。

参考文献

- 冯亚林,张蜀平. 集成电路的现状及其发展趋势[J]. 微电子学, 2006, 36(2):173
- 王焰. IC 引线框架材料的发展动向[J]. 金属功能材料, 1995, (2):49
- 陈兴章. 集成电路用铜合金引线框架材料的应用及产业化[J]. 上海有色金属, 2002, 23(4):145

- 向文永,陈小祝,匡同春,等. 集成电路用引线框架材料的研究现状与趋势[J]. 材料导报, 2006, 20(3):122
- 郭震泰. 半导体器件引线框架材料的现状与发展[J]. 材料科学与工程, 2001, 19(3):127
- Dong Qiming, et al. Microstructural changes of Cu-Ni-Si alloy during aging [J]. Mater Sci Techn, 2004, 20:99
- Huang F X, Ma J S, et al. precipitation in Cu-Ni-Si-Zn alloy for lead frame [J]. Mater Lett, 2003, 57:2135
- 马莒生,黄福祥,黄乐,等. 铜基引线框架材料的研究与发展[J]. 功能材料, 2002, 33(1):1
- 杨春秀,郭富安,慕思国,等. 引线框架用 Cu-Cr-Zr 合金的研究现状[J]. 金属功能材料, 2006, 3(3): 24
- 汪黎,孙扬善,付小琴,等. Cu-Ni-Si 基引线框架合金的组织性能[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2005, 35(5):729
- Dong Q M, Su J H, Liu P, et al. Aging precipitation characteristics of leadframe Cu-Cr-Zr-Mg alloy [J]. Trans Mater Heat Treatment, 2004, 25(5):157
- 谢水生,李彦利,朱琳. 电子工业用引线框架铜合金及组织的研究[J]. 稀有金属, 2003, 27(6):769
- Shin-ichiron Yahagi Hiroshi Yamada. Development of high strength lead frame alloy [J]. Electric Furnace Steel, 1993, 63(3):220
- 科扎 R, 瑞戴特 P L. 用于制备集成电路引线框的硬化铁-镍合金及其制造方法[P]. CN Pat, CN1437657A. 2003
- 格尔曼 B,厄潘贝克 B,布里尔 U. 具有低热膨胀的抗蠕变铁镍合金[P]. CN Pat, CN1357056A. 2002
- 格尔曼 B,厄潘贝克 B. 一种具有特殊机械性能的低热膨胀性的铁镍合金[P]. CN Pat, CN1420941. 2003
- Naito, Yukihiko. Fe-Ni base alloy for lead frame and method of manufacturing lead frame [P]. JP Pat, JP2002194509. 2002
- Nishida Junichi. High-strength low-thermal-expansion Fe-Ni alloy, and shadow mask and lead frame-ray tube using the mask, and lead frame and semiconductor device using the frame [P]. JP Pat, JP2001303200. 2001
- Hiroshi Yamada, Takuo Oishi, Takashi Ishikawa, et al. Workability in blanking of Fe-42%Ni lead frame material [J]. Electric Furnace Steel, 1996, 66:178
- 结城典夫,西川清明. 用于制造电子枪部件的 Fe-Ni 合金及其冲裁电子枪部件[P]. CN Pat, CN1162651A. 1997
- 波多野隆绍,喜多芳久. 刻蚀穿孔性能优良的铁镍合金荫罩半成品及其制造方法[P]. CN Pat, CN1327077A. 2002
- Yuki N, et al. Effects of inclusions on ductile fracture of an Fe-42 pct Ni alloy in tension and shear [C]. TMS Annual Meeting, Recent Advances in Fracture, 1997. 327
- Kim S W, Yang C J. System design and H/W development of the residual stress measurement for Fe-Ni base lead frame thin sheet [J]. Rist J R&D, 2000, 14:23
- 长盐隆之,市川一夫,中村秀一. 用于制造铁-镍基薄板材的方法[P]. CN Pat, CN1754968A. 2006
- 科扎 R,里亚尔 J P,雷德特 P L. 铁镍合金带材的制备方法[P]. CN Pat, CN1367268A. 2002
- Johnson Frank J. Method and apparatus for producing a strip of lead frames for integrated dies in a continuous system [P]. US Pat, US5305043. 2004

(责任编辑 钟 浩)