



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114214626 A

(43) 申请公布日 2022.03.22

(21) 申请号 202210030014.2

(22) 申请日 2022.01.12

(71) 申请人 浙江花园新能源股份有限公司
地址 322121 浙江省金华市东阳市南马镇
花园村

(72) 发明人 陈盈州 罗辉 李平

(74) 专利代理机构 杭州知闲专利代理事务所
(特殊普通合伙) 33315

代理人 朱滕琪

(51) Int. Cl.

G23F 1/02 (2006.01)

G25D 3/22 (2006.01)

G25D 7/06 (2006.01)

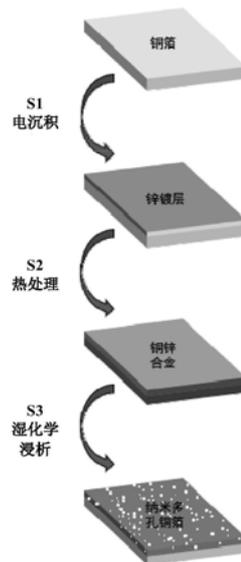
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺及其产品和应用

(57) 摘要

本发明公开了一种具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺及其产品和应用,该制备工艺以铜箔为基体,通过电化学镀锌、热处理、湿化学冶金浸析等一系列步骤制备得到,具体包括:配置电沉积镀液,以铜箔片作为阴极,经电沉积在铜箔片表面电镀锌层;将该电镀有锌层的铜箔片进行热处理形成表面含有铜锌合金的铜箔片;最后浸入化学浸析液中,经反应后制备得到具有表面多孔结构的铜箔;该制备工艺简单、可控,能耗低;制备得到的铜箔表面具有多孔结构,具有孔径尺寸分步窄,孔密度高的优势,因此兼具低的表面粗糙度与高的抗剥离强度(与高分子材料间),尤其适合应用于5G通讯、电子电路领域和锂离子电池集流体中的应用。



1. 一种具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,其特征在于,以铜箔片为原料,具体包括:

S1:配置电沉积镀液,以铜箔片作为阴极,经电沉积在铜箔片表面电镀锌层;

S2:将步骤S1中获得的电镀有锌层的铜箔片进行热处理形成表面含有铜锌合金的铜箔片;

S3:将步骤S2制备的表面含有铜锌合金的铜箔片浸入化学浸锌液中,经反应后制备得到具有表面多孔结构的铜箔。

2. 根据权利要求1所述的具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,其特征在于,步骤S1中:

所述电沉积镀液,原料组成包括氯化胆碱、乙二醇、氯化锌和瓜尔胶。

3. 根据权利要求2所述的具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,其特征在于,所述电沉积镀液中:瓜尔胶的含量为0.1~5ppm;氯化胆碱、乙二醇与氯化锌的摩尔比为1:4~6:1~2。

4. 根据权利要求1所述的具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,其特征在于,步骤S1中:

所述铜箔片的厚度为0.01~0.1mm;

所述电沉积,电流密度为4~10mA/cm²,电镀时间为20s~20min。

5. 根据权利要求1所述的具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,其特征在于,步骤S2中,所述热处理的温度为150~250℃,时间为20~60min。

6. 根据权利要求1所述的具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,其特征在于,步骤S3中:

所述化学浸锌液,原料组成包括浓度为5~20g/L的氨基磺酸、浓度为5~50g/L的氯化胆碱、浓度为10~100g/L的可溶性铵盐和水;

所述可溶性铵盐选自氯化铵、硫酸铵、硝酸铵中的一种或多种;

所述反应的温度为20~90℃,时间为5min~8h。

7. 根据权利要求1~6任一项所述的具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,其特征在在于:

步骤S2中,所述热处理的温度为150~200℃,时间为20~40min;

步骤S3中,所述化学浸锌液中,氨基磺酸的浓度为10~20g/L,氯化胆碱的浓度为10~20g/L,可溶性铵盐的浓度为40~50g/L。

8. 根据权利要求7所述的具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,其特征在于,所述化学浸锌液中,可溶性铵盐与氯化胆碱的质量比为2~3:1。

9. 一种根据权利要求1~8任一项所述的工艺制备的具有表面多孔结构的铜箔。

10. 一种根据权利要求9所述的具有表面多孔结构的铜箔在5G通讯、电子电路领域和锂离子电池集流体中的应用。

具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺及其产品和应用

技术领域

[0001] 本发明涉及多孔金属材料的技术领域,尤其涉及一种具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺及其产品和在5G通讯、电子电路领域、锂离子电池集流体中的应用。

背景技术

[0002] 铜作为一种具有高电导率、成本适中、可加工性优越的导体材料,在PCB(印制电路板)以及整个电子领域、锂离子电池负极集流体领域中占主导地位。

[0003] 电子铜箔作为PCB及CCL(铜箔基板)的重要材料,其性能也将成为高速、高频信号的传输损耗一个重要组成因素。适应5G时代的电子铜箔信号传输损耗,开发和生产满足PCB及CCL对高速、高频化要求的低轮廓电解铜箔具有重要意义。为了保证信号的完整性,铜箔厂家越来越渴望降低铜表面粗糙度(一般Rz要求低于1.0 μ m)。但铜的粗糙度降低后,铜与高分子层压板间的剥离强度一般也会降低。因此,开发即具有低粗糙度又不会明显劣化与高分子基板材料间的剥离强度的铜箔是5G通讯、高频高速电子电路领域亟待解决的难题。

[0004] 申请公布号为CN 112635772 A的中国专利文献中公开了一种锂电池用多孔铜箔及其制备方法和应用,该多孔铜箔包括无孔铜箔基底和覆盖在无孔铜箔基底表面的多孔铜箔层;该多孔铜箔层含有铜元素和助剂元素,优选金属元素Bi。制备方法包括:在无孔铜箔基底表面覆盖合金铜箔层,然后将该合金铜箔层进行去合金处理。

[0005] 该技术方案制备的多孔铜箔具有规整的多孔结构及较高的孔隙率,尤其适用于锂离子电池领域,但若将其用于5G领域,将存在以下问题:

[0006] 1、该多孔铜箔层是经通过电沉积工艺沉积于无孔铜箔基底,两者间的作用力有限,若将其与高分子材料进行粘结后制造PCB及CCL,其剥离强度将无法满足应用要求。

[0007] 2、该工艺制备的多孔铜箔的孔隙率为20~31%,该孔隙率下无法满足5G领域对于低表面粗糙度的要求。

[0008] 3、该制备工艺中去合金化处理采用了先碱性腐蚀剂接触后酸性腐蚀剂接触的工艺,不仅耗时长,且采用的碱性腐蚀剂与酸性腐蚀剂均具有较强的腐蚀性能,增加了生产的危险性,且大大增加了废水的处理量。

发明内容

[0009] 针对高频高速通讯领域用铜箔存在的问题,本发明公开了一种具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,工艺简单、可控,能耗低;制备得到的铜箔表面具有多孔结构,兼具低的表面粗糙度与高的抗剥离强度(与高分子材料间),尤其适合应用于5G通讯、电子电路等领域。

[0010] 具体技术方案如下:

[0011] 一种具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,以铜箔片为原料,具体包括:

[0012] S1:配置电沉积镀液,以铜箔片作为阴极,经电沉积在铜箔片表面电镀锌层;

[0013] S2:将步骤S1中获得的电镀有锌层的铜箔片进行热处理形成表面含有铜锌合金的

铜箔片；

[0014] S3:将步骤S2制备的表面含有铜锌合金的铜箔片浸入化学浸锌液中,经反应后制备得到具有表面多孔结构的铜箔。

[0015] 本发明以铜箔片为原料,先经电沉积工艺在铜箔表面沉积一层电镀锌层,再经过热处理,锌层与铜底层发生互扩散,在基底铜箔表面原位形成一层铜锌合金层,最后经过化学冶金浸析步骤,锌元素析出后即可得到孔均匀分布的表层多孔铜箔。该工艺制备得到的多孔结构只在铜箔的表面均匀分布,而其内部仍以铜箔为基材,在获得多孔铜箔优越性能的同时还保证了其高的机械性能;更为重要的是,基材表面的多孔结构与基材间不存在明显的界限,并且该多孔结构的孔径尺寸分布窄,孔密度高,兼具低的表面粗糙度和高的抗剥离强度。

[0016] 步骤S1中:

[0017] 所述电沉积镀液,原料组成包括氯化胆碱、乙二醇、氯化锌和瓜尔胶。

[0018] 优选的,所述电沉积镀液中,瓜尔胶的含量为0.1~5ppm;氯化胆碱、乙二醇、氯化锌的摩尔比为1:4~6:1~2。

[0019] 本发明中采用的为含锌离子的非水性溶剂,电镀过程中阴极不会产生析氢反应,得到的锌镀层均匀致密,提高了后续形成铜锌合金的成品率。更为重要的是,镀液中,一方面添加了特殊的助剂瓜尔胶,另一方面控制乙二醇在较高的添加量下;采用上述设计,可以使镀液粘度适中,锌沉积层的表面粗糙度低,锌晶粒细小,保证了在后续的热处理过程中形成的铜锌合金层中锌、铜元素分布均匀,保证多孔层的孔密度高且细小。经对比试验发现,若将该特殊助剂替换为本领域常见的乙二胺,锌镀层粗糙度明显较高,晶粒粗大。若降低乙二醇的用量,如将氯化胆碱与乙二醇的摩尔比控制在1:2,镀液粘度较高,获得锌镀层晶粒粗大,无法满足低粗糙度的要求 $R_z < 1.0\mu\text{m}$ 的要求。

[0020] 步骤S1中:

[0021] 所述电沉积过程中,对于阳极没有特殊要求,只要可以经过电沉积在阴极表面沉积得到镀锌层即可,具体可以选自黄铜片。

[0022] 所述铜箔片的厚度为0.01~0.1mm。

[0023] 通过控制电沉积的电流密度与电镀时间可以对锌镀层的厚度进行控制。优选的,所述电沉积,电流密度为4~10mA/cm²,电镀时间为20s~20min。

[0024] 步骤S2中,所述热处理的温度为150~250℃,时间为20~60min。

[0025] 通过该步热处理可以调控锌向铜箔内部扩散的过程,通过调控温度和时间,可以实现铜箔表面热处理后铜锌合金层的均匀度,从而影响后续多孔结构的孔大小和密度等参数。

[0026] 优选的,所述热处理的温度为150~200℃,时间为20~40min。经试验发现,在该热处理工艺参数下获得的具有表面多孔结构的铜箔,具有分步更窄的孔径尺寸,更利于在后续5G通讯和电子电路领域中的应用。

[0027] 步骤S3中:

[0028] 所述化学浸锌液,原料组成包括浓度为5~20g/L的氨基磺酸、浓度为5~50g/L的氯化胆碱、浓度为10~100g/L的可溶性铵盐和水;

[0029] 所述可溶性铵盐选自氯化铵、硫酸铵、硝酸铵中的一种或多种;

[0030] 本制备工艺中采用的化学浸锌液,包括氨基磺酸、氯化胆碱和可溶性铵盐,其中,氨基磺酸提供酸性腐蚀环境,氯化胆碱和可溶性铵盐作为化学浸锌的助剂。氨基磺酸水溶液可水解出具有空间位阻效应的氨基磺酸根阴离子,对锌离子产生静电吸引,促进浸锌过程的进行;本工艺中还创新性地利用氯化胆碱易分解后缓释氨的特性,促进与铜锌合金中的锌的络合反应,产生锌铵络离子,使化学浸锌过程持续发生;此外,氯化胆碱分解呈弱碱性,对化学浸锌过程发挥调控作用。

[0031] 经试验发现,若将氨基磺酸替换为常见的酸性物质,如盐酸,会导致制备得到的铜箔表面孔洞相连,无法形成独立的孔洞,且表面刻蚀形貌非常不均匀。而若将氯化胆碱去除,会导致制备得到的铜箔表面孔洞尺寸相差较大,均一性差,且孔洞分布不均匀。还会导致制备的铜箔的抗热性能以及与树脂材料的粘附性能均显著下降。

[0032] 本发明中公开的化学浸锌液,各原料的浓度采用上述特定范围,经试验发现,各原料在上述浓度范围内时的刻蚀效果最好,既不会造成过度刻蚀,又不需要消耗过多时间。

[0033] 优选的:

[0034] 所述化学浸锌液中,氨基磺酸的浓度为10~20g/L,氯化胆碱的浓度为10~20g/L,可溶性铵盐的浓度为40~50g/L。

[0035] 进一步优选,所述化学浸锌液中,可溶性铵盐与氯化胆碱的质量比为2~3:1。

[0036] 经试验发现,采用上述不断优化的工艺条件,制备得到的具有表面多孔结构的铜箔,具有分步更窄的孔径尺寸与更高的孔密度,更利于在后续5G通讯和电子电路领域中的应用。

[0037] 步骤S3中,所述反应的温度为20~90℃,时间为5min~8h;优选为40~80℃。

[0038] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0039] (1) 本发明公开了一种具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺,通过在铜箔基材表面先沉积锌层再经热处理形成铜锌合金层,消除了铜锌合金层与铜箔基材间的界面,为后续获得高剥离强度(多孔铜箔与高分子材料间)提供基础;该制备工艺还依次采用了优化组成的电沉积镀液、优化的热处理工艺与优化组成的化学浸锌液,以进一步控制最终制备的铜箔表面多孔结构的孔径尺寸与孔密度以及多孔结构层的厚度,以获得更好的应用效果。

[0040] (2) 本发明制备得到的具有表面多孔结构的铜箔,以铜箔为基材,在其表面形成了多孔结构,该设计保留了铜箔原有的机械强度和导电性能,同时,其表面的多孔结构具有窄的孔径尺寸与高的孔密度,因此兼具低的表面粗糙度与高的抗剥离强度(与高分子材料间),尤其适合应用于5G通讯和电子电路领域。

附图说明

[0041] 图1为本发明公开的具有表面多孔结构的铜箔的制备工艺流程图;

[0042] 图2为实施例1制备的具有表面多孔结构铜箔的扫描电子显微照片。

[0043] 图3为对比例1制备的产物的扫描电子显微照片。

具体实施方式

[0044] 下面结合实施例和对比例对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0045] 实施例1

[0046] 步骤S1:选取厚度为0.05mm的铜箔,在铜箔表面沉积锌。铜箔片作为阴极,黄铜片作为阳极。

[0047] 配置镀液:按氯化胆碱:乙二醇:氯化锌的摩尔比为1:4:2进行混合,在80℃下搅拌至澄清液体,再加入0.2ppm的瓜尔胶粉末,继续在80℃下搅拌至完全溶解。

[0048] 在室温下电镀,电流密度为8mA/cm²,电镀时间为10min。

[0049] 步骤S2:将镀好的样品放入烘箱中,设置温度为200℃,时间40min。

[0050] 步骤S3:先制备化学浸锌液:15g/L氨基磺酸、50g/L氯化铵、20g/L氯化胆碱,水为溶剂。将步骤S2制备的样品浸入到化学浸锌液中,在60℃下反应10min,即可获得表面具有多孔结构的铜箔。

[0051] 图2为本实施例制备的产物的SEM图,观察可以发现铜箔表面平整无缺陷,且孔径分布窄,均匀。经统计分析,本实施例制备的产物的表面多孔层中的孔径范围为200nm~400nm,孔隙率高于35%,表面多孔层厚度大约为2μm。经计算,本实施例制备的产物中,表面多孔层的表面粗糙度为Rz≈700nm(0.7μm),低于5G用HVLP铜箔Rz<1.0μm。

[0052] 将本实施例制备的产物放置在250℃下烘烤60分钟表面不发生氧化变色现象,说明该表面具有多孔结构的铜箔具有优异的抗氧化性能。

[0053] 为进一步测试本发明制备的具有多孔结构的铜箔与高分子材料间的抗剥离强度,参考IPC-TM-650的测试方法,将本实施例制备的铜箔与环氧树脂(生益科技S1170G)贴合后测试其抗剥离性能,经测试,抗剥离强度PS=1.31N/mm,大于1.05N/mm的标准要求。

[0054] 实施例2

[0055] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S1配制镀液时,将氯化胆碱:乙二醇:氯化锌的摩尔比替换为1:6:1。

[0056] 经表征,本实施例制备的表面具有多孔结构的铜箔,经统计分析,本实施例制备的产物的表面多孔层中的孔径范围为150nm~300nm,孔隙率高于35%,表面多孔层厚度大约为2μm。本实施例制备的产物表面多孔层的表面粗糙度为Rz≈650nm(0.65μm)。

[0057] 采用与实施例1中相同的测试方式,本实施例制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧树脂(S1170G)的抗剥离强度PS=1.23N/mm。

[0058] 对比例1

[0059] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S1配制镀液时未加入瓜尔胶,镀液中,氯化胆碱:乙二醇:氯化锌的摩尔比为1:4:2。

[0060] 图3为本对比例制备的产物的SEM图,观察可以发现铜箔表面孔径分布较宽,为400nm~15μm。经表征,本对比例制备的表面具有多孔结构的铜箔,粗糙度为Rz=900nm(0.9μm)。

[0061] 采用与实施例1中相同的测试方式,本对比例制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧试制(S1170G)的抗剥离强度PS=0.87N/mm。

[0062] 对比例2

[0063] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S1配制镀液时将瓜尔胶替换为本领域常见的乙二胺,镀液中,氯化胆碱:乙二醇:氯化锌的摩尔比为1:4:2,乙二胺添加量为0.2ppm。

[0064] 经表征,本对比例制备的表面具有多孔结构的铜箔的表面多孔层中的孔径范围为500nm~10 μ m,孔隙率约15%,表面多孔层厚度大约为2 μ m。经计算,本对比例制备的产物中,表面多孔层的表面粗糙度为Rz \approx 1200nm(1.2 μ m)。

[0065] 采用与实施例1中相同的测试方式,本对比制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧树脂(S1170G)的抗剥离强度PS=0.95N/mm。

[0066] 对比例3

[0067] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S1配制镀液时,镀液中,氯化胆碱:乙二醇:氯化锌的摩尔比为1:2:2。

[0068] 经表征,本对比例制备的铜箔表面粗糙度高,颗粒粗大,表面多孔层微观结构中的孔径范围为500nm~10 μ m。经计算,本对比例制备的表面具有多孔结构的铜箔,粗糙度高,Rz=3.6 μ m。

[0069] 采用与实施例1中相同的测试方式,本对比例制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧树脂(S1170G)的抗剥离强度PS=0.82N/mm。

[0070] 实施例3

[0071] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S2中热处理的温度替换为150 $^{\circ}$ C,时间替换为40min。

[0072] 经表征,本实施例制备的表面具有多孔结构的铜箔,铜箔表面平整无缺陷,且孔径分布窄,均匀。表面多孔层中的孔径范围为150nm~400nm,孔隙率高于35%,表面多孔层厚度大约为1.6 μ m。经计算,本实施例制备的产物中,表面多孔层的表面粗糙度为Rz \approx 650nm(0.65 μ m)低于5G用HVLP铜箔Rz<1.0 μ m。

[0073] 采用与实施例1中相同的测试方式,本实施例制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧树脂(S1170G)的抗剥离强度PS=1.26N/mm。

[0074] 实施例4

[0075] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S2中热处理的温度替换为250 $^{\circ}$ C,时间替换为20min。

[0076] 经表征,本实施例制备的表面具有多孔结构的铜箔,本实施例制备的产物的表面多孔层中的孔径范围为150nm~650nm,孔隙率高于35%,表面多孔层厚度大约为2.1 μ m。经计算,本实施例制备的产物中,表面多孔层的表面粗糙度为Rz \approx 730nm(0.73 μ m),低于5G用HVLP铜箔Rz<1.0 μ m。

[0077] 采用与实施例1中相同的测试方式,本实施例制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧树脂(S1170G)的抗剥离强度PS=1.24N/mm。

[0078] 实施例5

[0079] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S3中化学浸锌液的组成替换为:10g/L氨基磺酸、40g/L氯化铵、20g/L氯化胆碱,水为溶剂。

[0080] 经表征,本实施例制备的表面具有多孔结构的铜箔,本实施例制备的产物的表面多孔层中的孔径范围为200nm~400nm,孔隙率高于35%,表面多孔层厚度大约为2 μ m。经计算,本实施例制备的产物中,表面多孔层的表面粗糙度为Rz \approx 660nm(0.66 μ m),低于5G用HVLP铜箔Rz<1.0 μ m。

[0081] 采用与实施例1中相同的测试方式,本实施例制备得到的表面具有多孔结构的铜

箔与环氧树脂(S1170G)的抗剥离强度为 $PS=1.28N/mm$ 。

[0082] 实施例6

[0083] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S3中化学浸锌液的组成替换为:20g/L氨基磺酸、45g/L氯化铵、15g/L氯化胆碱,水为溶剂。

[0084] 经表征,本实施例制备的表面具有多孔结构的铜箔,本实施例制备的产物的表面多孔层中的孔径范围为150nm~450nm,孔隙率高于35%,表面多孔层厚度大约为2 μm 。经计算,本实施例制备的产物中,表面多孔层的表面粗糙度为 $Rz\approx 600nm(0.60\mu m)$,低于5G用HVLP铜箔 $Rz<1.0\mu m$ 。

[0085] 采用与实施例1中相同的测试方式,本实施例制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧树脂(S1170G)的抗剥离强度为 $PS=1.23N/mm$ 。

[0086] 实施例7

[0087] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S3中化学浸锌液的组成替换为:10g/L氨基磺酸、40g/L氯化铵、10g/L氯化胆碱,水为溶剂。

[0088] 经表征,本实施例制备的表面具有多孔结构的铜箔,本实施例制备的产物的表面多孔层中的孔径范围为200nm~700nm。孔隙率高于35%。表面多孔层厚度大约为2 μm 。经计算,本实施例制备的产物中,表面多孔层的表面粗糙度为 $Rz\approx 720nm(0.72\mu m)$,低于5G用HVLP铜箔 $Rz<1.0\mu m$ 。

[0089] 采用与实施例1中相同的测试方式,本实施例制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧树脂间(S1170G)抗剥离强度 $PS=1.21N/mm$ 。

[0090] 对比例4

[0091] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S3中化学浸锌液的组成替换为:15g/L盐酸、50g/L氯化铵、20g/L氯化胆碱,水为溶剂。

[0092] 经SEM表征发现,铜箔基材表面腐蚀粉化严重,不能在其表面得到多孔结构。

[0093] 对比例5

[0094] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S3中化学浸锌液的组成替换为:15g/L氨基磺酸、50g/L氯化铵。

[0095] 经SEM表征发现,铜箔基体表面孔径分布宽,从500nm~2000nm。表面有较大的残留锌颗粒存在,表面粗糙度为 $Rz=2.2\mu m$ 。

[0096] 对比例6

[0097] 制备工艺与实施例1基本相同,区别仅在于步骤S3中化学浸锌液的组成替换为:15g/L盐酸、50g/L氯化铵。

[0098] 经SEM表征发现,铜箔基体表面腐蚀粉化严重,用滤纸轻拭严重掉粉,不能得到多孔结构的铜箔产品。

[0099] 对比例7

[0100] 采用公开号为CN 112635772 A的中国专利文献中实施例1的技术方案制备得到表面具有多孔结构的铜箔,经测试,其多孔结构层的表面粗糙度为 $Rz=1.2\mu m$ 。

[0101] 采用与实施例1中相同的测试方式,本对比制备得到的表面具有多孔结构的铜箔与环氧树脂(S1170G)的抗剥离强度 $PS=0.87N/mm$ 。

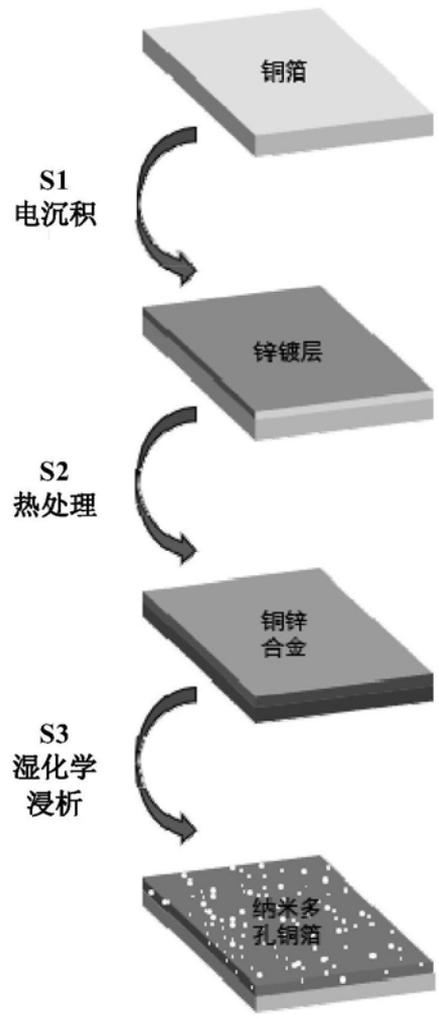


图1

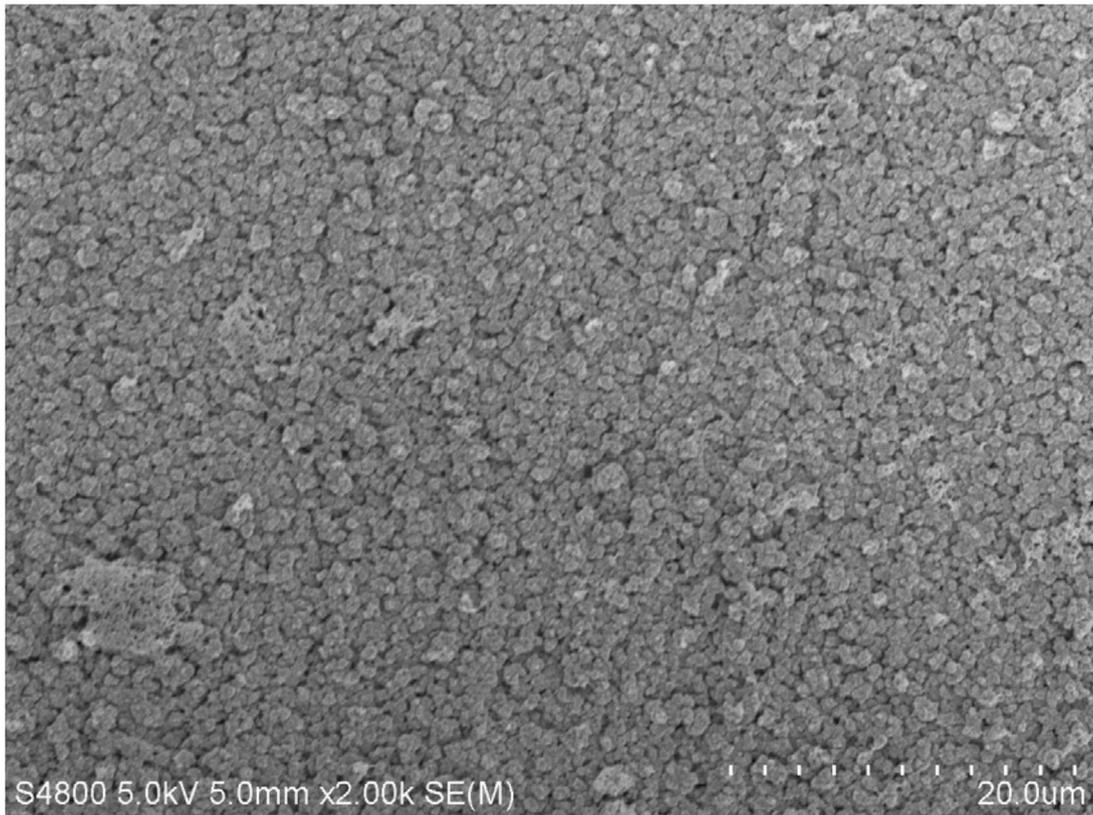


图2

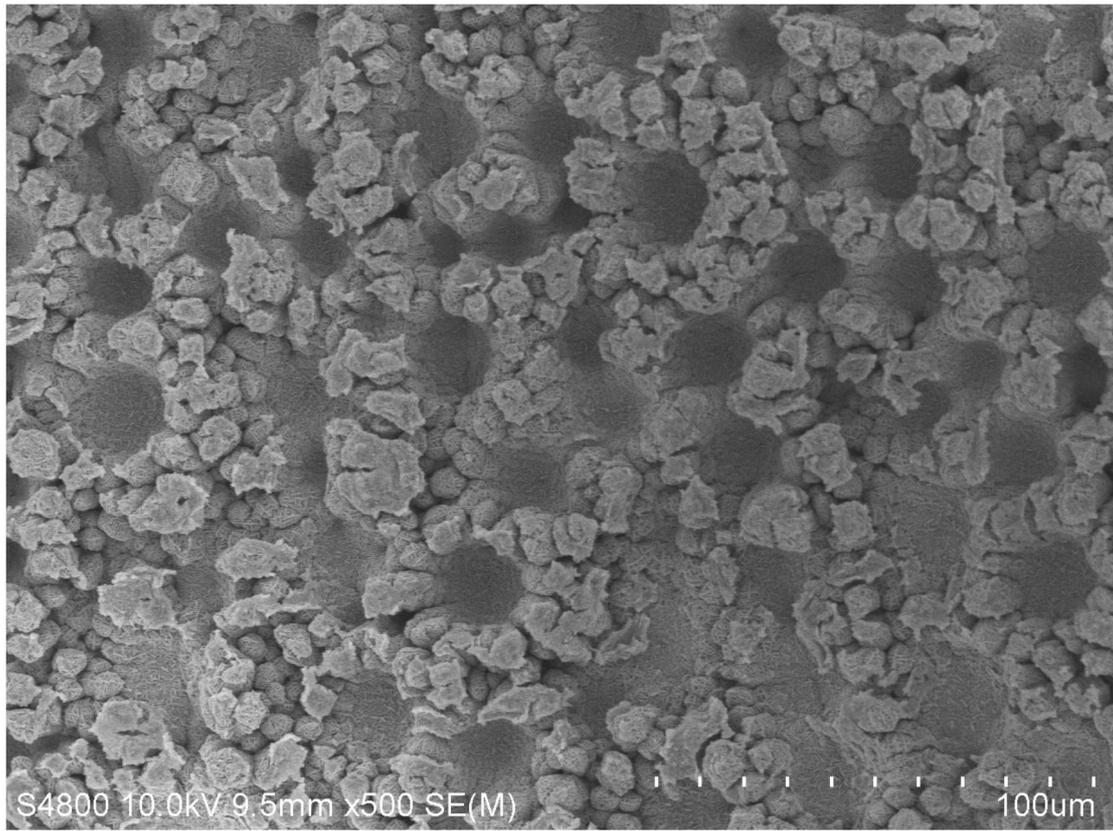


图3