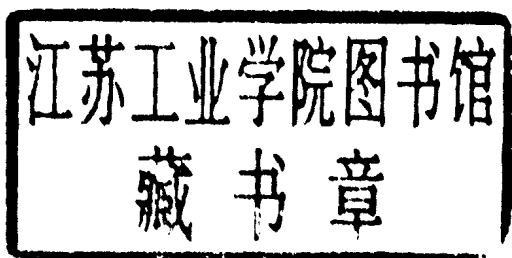


新的鍍層和電解液

〔蘇聯〕 H·B·柯洛文 著

于 春 江 岩 譯



中 国 工 业 出 版 社

本书探讨了电镀技术发展中的—些新方向，介绍了一些新镀层、电解液和得到镀层的方法。本书取材于苏联及其他国家的文献以及实际工作经验。

本书适于从事金属防腐专业的工厂技术人员、科学研究人员和高等学校师生阅读。

И. В. Коровин

НОВЫЕ ПОКРЫТИЯ И ЭЛЕКТРОЛИТЫ
В ГАЛЬВАНОТЕХНИКЕ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ

Москва 1962

* * *

新的 镀层和 电解液
于 春江 岩 译

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑（北京灯市口71号）

中国工业出版社出版（北京修门内大街10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $4^{13/16}$ ·字数94,000

1965年7月北京第一版·1965年7月北京第一次印刷

印数0001—6,100·定价（科四）0.46元

*

统一书号：15165·3799（冶金-601）

目 录

原 序

第一章 新的电解液	1
硼氟酸溶液	1
焦磷酸电解液	7
胺类及铵盐电解液	11
新的镀铬电解液	15
镀锡的卤化物电解液	20
第二章 光亮镀层的取得	22
镀镍	28
镀铜	31
镀银	33
镀锌	34
镀铬	35
镀锡	36
第三章 电积合金	38
防护-装饰性镀层	50
耐磨和抗磨镀层	62
接触点的电镀	73
磁性镀层	75
电积钨、钼及铈的合金	77
第四章 新镀层的取得	83
锰镀层的取得	87
铈镀层的取得	88
沉积砷	89
电镀铋	89

VI

铋镀层的取得.....	92
电积锳.....	93
电积鈦.....	94
电积錄.....	98
镀鈮.....	98
电积鈹.....	100
第五章 从非水溶液中取得金属镀层	102
镀鋁.....	105
电积鎂.....	108
电积铍及其合金.....	109
电积鍺.....	110
电积鉛及其合金.....	110
第六章 从熔融盐中取得镀层.....	112
镀鈦.....	113
镀鈷.....	113
镀鎢及鉛.....	114
镀鉍.....	115
镀鉍.....	115
第七章 取得金属镀层的化学方法	116
化学镀鍍.....	116
化学镀鈷.....	128
鉄及其合金的化学沉积.....	129
化学镀鉻.....	129
镀鈳合金.....	130
鈹的化学沉积.....	131
化学镀銅.....	132
化学镀錫.....	133
金属的接触沉积.....	133
参考文献	136

第一章 新的电解液

直到最近为止，在电镀技术中主要采用硫酸和氰化物电解液，这些电解液所固有的主要缺点是，硫酸溶液均布能力^①低，而且为了获得紧密和细晶镀层必须加入专门的添加剂；氰化物溶液有毒，也不够稳定。

为了提高金属沉积的速度，取代有毒溶液，取得具有特殊性能的镀层，进行过大量的研究工作，主要是探求新的电解液的方向。最近已经研究出一些新的电解液，在这些电解液中，金属的沉积速度比在硫酸溶液中可以快数十倍。取代氰化物溶液的课题看来比较困难，虽然已经研究出一些替代氰化物溶液的电解液，但是它们并不十分完善，它们有均布能力差、稳定性低、不能保证镀层和基体的牢固结合等缺点。

新研究出的电解液中最有意义且已找到实际应用的电解液有硼氟酸溶液，焦磷酸溶液，以及胺类溶液；在这些溶液中可以沉积很多金属及合金。除此而外，在工业上还使用着新的镀铬和镀锡溶液。

硼 氟 酸 溶 液

硼氟酸 HBF_4 是强酸。在水溶液中，除 HBF_4 外，还有 HBF_3OH ——羟基硼氟酸^[10]。硼氟酸与大多数经常用作镀层的金属形成易溶盐，从硼氟酸溶液中得到镍、钴、

① 亦称分散能力，布散能力——译注。

鉄、銅、鋅、鎳、鈮、錫及它們的合金的鍍層。

生产能力高、成份稳定而简单是硼氟酸溶液的主要优点。在这些电解液中可以得到細晶鍍層，而且当阴极电流密度比在硫酸溶液中大 1—9 倍时，阳极和阴极电流效率接近 100%。

硼氟酸溶液非常稳定，成份简单，不需要特殊添加剂来改善溶液的导电性和緩冲性能。在硼氟酸溶液中所得鍍層比在其他电解液中得到的鍍層硬度高，塑性好和內应力小。从硼氟酸溶液中得到的鎳鍍層的显微硬度为 300—550 公斤/毫米²，而在相同条件从硫酸电解液中所得鍍層的显微硬度为 200—250 公斤/毫米²[11, 12]。当用阴极弯曲法測定內应力时，在相同条件下，于硼氟酸溶液中弯曲度为 3.0—3.5 毫米，而在硫酸电解液中为 5.5—7.0 毫米。

从沒有添加剂的硫酸溶液中得到的鉄鍍層的显微硬度为 290 公斤/毫米²，而在硼氟酸电解液中則为 520 公斤/毫米²[13, 14]。

硼氟酸电解液的特点是，硼氟酸盐的溶解度大，导电性高以及緩冲性能好。在室溫下可以制备 7N 的銅溶液、6N 的鎳溶液和 5N 的鈷溶液。在浓溶液中形成絡合物可能是硼氟酸盐溶解度大的原因之一。吸收光譜的研究表明[15]，当鎳或鈷的硼氟酸浓度等于或大于 2 克-当量/升时，能形成不牢固的自絡合型的絡合物。由于盐的溶解大，在硼氟酸溶液中阳极过程沒有任何复杂性，在高浓度溶液中，沉积金属可以在比較高的电流密度下实现。

鎳和鈷的硼氟酸溶液的比电导比硫酸溶液大 1 倍[12, 16]，当电流密度为 5 安培/分米²、溫度为 40°C 时，在硼氟酸溶液中鍍鎳的槽压为 1.73 伏，而在硫酸溶液中則为 2.32 伏[11]。

在宽广的 pH 范围内硼氟酸电解液比硫酸溶液具有較好的緩冲性能 (图 1), 这是由于硼氟酸溶液中存在有几种酸 (硼氟酸, 一羟基硼氟酸, 硼酸) 以及它們的盐类和其他化合物。当溶液中加入碱时, 发生下面的反应: $\text{BF}_4^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{BF}_3\text{OH}^- + \text{F}^-$ 。当溶液中加入 H^+ 离子时, 发生相反的反应, 也可能有下面的过程:



由于溶液的緩冲性能好, 因此阴极附近薄层中的 pH 值在电解过程中变化很小, 这对电积层的质量有有利的影响。硼氟酸盐的水解比硫酸盐和氯化物盐类小, 因此在阴极附近的电解液中形成金属氢氧化物的可能性減少了。这有助于使用較高的电流密度和改善镀层的质量。

硼氟酸通常由氢氟酸和硼酸来制备^[11, 12, 17]。制备硼氟酸盐最常用方法是在硼氟酸中加入相应的金属碳酸盐。

目前硼氟酸电解液比硫酸溶液貴, 因此, 比較合理的是用于下列一些场合: 需要加速金属的沉积过程; 在电鑄中为了得到厚度大和塑性好的沉积层; 鍍金属綫和帶; 修补磨損的零件; 用电解法制造金属帶、管子和双金属。

由于硼氟酸溶液的均布能力差, 因而不能用于覆盖几何形状复杂的制品。

鍍銅 在鍍銅的硼氟酸溶液中允許的电流密度随銅浓度增加和溫度升高而加大。例如, 当銅浓度是 17 克/升和溫度 20°C 时, 电流密度为 2 安培/分米², 而在銅含量为 80 克/升和溫度 65°C 时, 电流密度可达 65 安培/分米²^[18]。在硼氟酸溶液中沉积出的鍍层結晶細而光洁, 容易拋光。电解液对盐的浓度、溫度和电流密度的变化不敏感, 但是如在硫酸溶液中一样, 在硼氟酸溶液中不能直接在鋼上鍍銅, 也不能鍍

形状复杂的零件。

硼氟酸溶液鍍銅适用于电鍍，制造双金属，銅带以及其他需要得到大厚度鍍层的场合。溶液成份和沉积条件如下[19]：

$\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$ ，克/升.....	224	336
Cu ，克/升.....	60	90
HBF_4 游离，克/升.....	2	2
pH	0.8—1.4	0.2—0.8
溫度， $^{\circ}\text{C}$	25—75	25—75
电流密度，安培/分米 ²	8—14	15—30

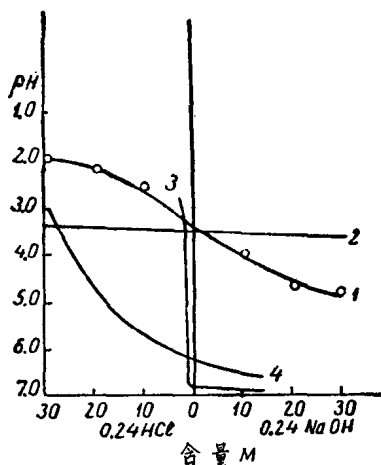


图 1 硼氟酸鍍和硫酸鍍电解液的缓冲性能[12]：

1—1-N 硼氟酸电解液；2—3-N 硼氟酸电解液；3—1-N 无添加剂的硫酸电解液；4—含 0.5-N 硼酸和 0.2-N 氟化鈉的硫酸电解液

鍍鋅 用于鍍金屬絲、带、板材以及在滾筒和钟形槽內滾鍍小零件。鍍鋅用的硼氟酸溶液成份列于表 1。

鍍鎳 硼氟酸溶液被推荐（表 2）在滾筒和钟形槽內鍍紧固零件以及在不希望被鍍表面有渗氢时应用。

鍍鍍 关于在硼氟酸溶液中鍍鍍已有大量著作[11, 12, 22—26]发表。

曾經确定，鍍鍍最好在含鍍 3.0 和 3.5 N、游离硼酸量不大（10—30 克/升）和 pH 为 2.8—3.5 的溶液中进行。添加鍍的氯化物

（10—15 克/升）对阳极和阴极过程均有良好影响。在硼氟酸

沉积锌的硼氟酸溶液成份和沉积条件

表 1

电解液组份(克/升)和 沉积条件	普通槽 〔20〕	普通槽 〔19〕	高速槽 〔19〕
$Zn(BF_4)_2$	180	200	300
NH_4BF_4	30	35	35
H_3BO_3	25	—	—
NH_4Cl	—	54	27
β -萘酚	1.0	—	—
甘草根浸出物	—	1	1
pH	5.0—5.4	—	3.5—4.0
电流密度, 安培/分米 ²	4.5—10	—	2.7—90
温度, °C	25	—	27—55

鍍鎳溶液的成份和条件

表 2

电解液组份 (克/升) 和沉积条件	文 献 来 源	
	〔19〕	〔21〕
$Cd(BF_4)_2$	240	210
NH_4BF_4	60	40
甘草根浸出物	1	—
H_3BO_3	—	25
β -萘磺酸钠	—	1.0
pH	4.0—4.6	3.5—4.0
温度, °C	25—35	20—30
电流密度, 安培/分米 ²	3.0—6.5	2.2—6.5

溶液中鍍鎳的最大和迄今未能完全克服的困难是在鍍层上有麻点形成。为消除麻点有人推荐添加湿润剂, 例如, 添加 0.2—0.3 毫升/升 ОП-7^[11]。每通过 100 安培-小时/升的电量后添加 2—3 毫升/升含 0.1 克/升 ОП-7 的溶液。B.И. 拉伊聶尔和 И.И. 潘欽柯为了减少麻点曾推荐在攪拌下用电流密度为 0.3—0.5 安培/分米² 的电流处理电解液的方法。

鍍鎳的電解液成份列于表 3 中。

沉積鎳的溶液成份和條件

表 3

電解液組份 (克/升) 和沉積條件	文 獻 來 源	
	[12]	[19]
Ni	80—100	70—110
HBF ₄ 游離	—	4—40
H ₃ BO ₃	10	30
NiCl ₂ ·6H ₂ O	15	—
pH	3.0—3.5	2.7—3.5
溫度, °C	50	30—50
電流密度, 安培/分米 ²	20.0以下	2.5—17.0

鍍鐵 在硼氟酸溶液中可沉積出細晶粒的塑性鍍層，显微硬度為 400—600 公斤/毫米²。電解液對氧化是穩定的，在 pH=3—4 的範圍內具有良好的緩沖性能。于這些溶液中可以在比較低的溫度和比較高的電流密度下電鍍。硼氟酸鍍鐵溶液被推薦用于修復磨損零件。電積鐵的條件和溶液成份制訂如下^[14]：300 克/升 Fe(BF₄)₂；18 克/升 H₃BO₃；1—2 克/升 HBF₄游離；pH=3.2—3.6；溫度 20—60°C；陰極電流密度 2—12 安培/分米²。在電解液有攪拌的情況下電流密度可提高 0.2—0.5 倍。

鍍鈷 為了避免得到質量不好的鍍層，從硼氟酸溶液中沉積鈷不宜採用濃溶液（不超過 2 克-當量/升 Co），而且電解液不能加熱^[16, 27]。可以在含 233 克/升 Co(BF₄)₂ 的電解液中，在 pH=3—4、溫度 20—25°C 和電流密度 5—6 安培/分米²的情況下得到鈷的鍍層。

鍍錫 與硫酸溶液相比在硼氟酸溶液中可以得到比較光潔和細晶的錫鍍層，這些鍍層還比較容易焊接。陰陽極電流

效率接近 100%。这些电解液推荐用于薄鋼板和金属絲的鍍錫（表 4）。

硼氟酸电解液的特点也有其他强絡合酸盐电解液，如硅氟酸、鈦氟酸、氯酸等电解液的特性。因此，这些电解液可以在强化覆盖过程方面找到应用，例如，在 3M 的鈦氟酸銅的溶液中，在溫度 50°C、有攪拌、电流密度 30—60 安培/分米²的条件下曾鍍得厚而光滑的銅鍍层^[31]。

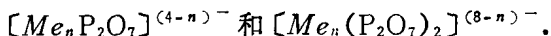
鍍錫的溶液成份和条件

表 4

电解液組份 (克/升) 和沉积条件	靜 止 槽 [19]	金 属 絲 鍍槽 [30]
Sn(BF ₄) ₂	200	200—300
HBF ₄ 游離	50	200
H ₃ BO ₃ 游離	25	—
骨胶	6	—
β-萘酚	1	0.5
动物胶	—	3.0
丹宁萃	—	0.5
pH	0.2	—
溫度, °C	20—38	室 溫
电流密度, 安培/分米 ²	2.8—14	60—140

焦磷酸电解液

焦磷酸盐能与銅、鎳、鈷、鋅、鎘、鉛、錫、鉈及其他金属形成絡合物。已經确定有两种型式的絡合离子存在：



如所周知，絡合离子的热力学稳定性由不稳定常数决定：

$$K = \frac{[M^{z+}]^x [A^{n-}]^y}{[M_x A_y]},$$

式中 (M^{n+}) ——金属离子的浓度；

(A^{n-}) ——絡合剂的浓度；

$(M_x A_y)$ ——絡合离子的浓度。

根据不稳定常数可以判断在絡合物溶液中金属的平衡电位。不稳定常数愈小，溶液中金属离子的浓度愈低（当絡合剂浓度相等时）金属在該溶液中的平衡电位值的負值愈大。

从表 5 可見，焦磷酸盐的絡合阴离子并不很牢固，但因为金属在这些电解液中沉积时有很高的化学极化，所以在焦磷酸溶液中进行沉积过程的电位值的負值比在硫酸和氯化物溶液中要大得多。例如，在含銅 0.175N 的焦磷酸銅溶液中沉积銅的电位負值在某些情况下比在硫酸溶液中大 1 伏特。

焦磷酸絡合离子的不稳定常数[32]

表 5

絡 合 离 子	Cu	Ni	Zn	Cd	Pb	Tl
$[M_{2n}P_2O_7]^{(4-n)-}$	2×10^{-7}	1.5×10^{-6}	—	2.7×10^{-6}	—	2.0×10^{-2}
$[M_{2n}(P_2O_7)]_2^{(8-n)-}$	1.0×10^{-9}	6.5×10^{-8}	3.4×10^{-7}	—	4.74×10^{-2}	1.35×10^{-2}

为了取代氯化物溶液，从焦磷酸溶液中电积金属的研究工作已經进行很久，但是对这些电解液比較詳細的研究和在实际应用它們还只是从 1940 年才开始[35—39]。

从焦磷酸电解液中取得鍍层为下列一些困难所障碍：焦磷酸絡合物在水中的溶解度不大；阳极要鈍化；在温度高时焦磷酸盐要分解。用鉀盐代鈉盐可提高焦磷酸盐的溶解度和在比較高的电流密度下得到质量好的鍍层。

为了防止阳极鈍化，在电解液內添加氨、鉍盐、草酸盐、檸檬酸盐、酒石酸盐、磷酸氢二鈉及其他化合物。目前

已研究出鍍銅、鋅、錫、鉛、鎳及它們的合金的焦磷酸電解液^[41]。

焦磷酸溶液操作上的困難限制了它們只能用于取代鍍鋅、鍍銅的氰化物電解液和電積合金。用焦磷酸電解液鍍錫、鉛、鎳和其他金屬未必有實際意義，因為它們與目前採用的鍍錫電解液（硫酸和錫酸鹽溶液）、鍍鉛電解液（硼氟酸和鹼性溶液）和鍍鎳電解液相比並無太多優點。

鍍銅 從焦磷酸溶液中鍍銅在蘇聯已為很多科學工作者研究過^[34, 35, 42, 45]。在表 6 中列有不同作者所推薦的電積銅的電解液成份和工作條件。

鍍銅的焦磷酸電解液

表 6

電解液成份（克/升） 和沉積條件	[35]	[42]	[36]	[41, 48]
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	35	50	—	—
Cu	—	—	22—38	31.8
$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	140	200	—	—
$\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	—	—	150—200	190.8 (P_2O_7)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	95	75—95	—	—
酒石酸鉀鈉	25	—	—	—
氨	—	—	1—3	—
草酸根離子	—	—	15—30	—
硝酸根離子	—	—	5—10	—
檸檬酸鈉	—	—	—	20
pH	9—10	7—9	8.2—8.8	8.1
溫度, °C	25—35	35—40	50—60	60
陰極電流密度, 安培/分米 ²	0.5—0.75	0.5—0.8	1.1—8.8 ^①	2.0到10 ^①

① 有攪拌時。

焦磷酸電解液的缺點是穩定性差和銅與鋼的結合力不是任何時候都很好。為了改善鍍層和鋼的結合力，推薦將被鍍

零件在接通电流的情况下以較高的起始电流密度挂入鍍槽，此时在加有檸檬酸盐或草酸盐的焦磷酸鉀溶液中可以获得可靠的結果^[36, 41, 44]。在某些工厂中在焦磷酸电解液中直接在鋁及鋁合金上鍍銅。結合牢固、緊密而无孔的銅鍍层可在下列成份的电解液中得到（克/升）：30—35 $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ；120—145 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ；或 100—125 $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ；60—100 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ ； $\text{pH} = 7.5—8.0$ ；溫度 50—70°C；电流密度 1.2—1.7 安培/分米²，用空气攪拌电解液。銅的电流效率为 92%^[45]。

鍍鋅 在焦磷酸溶液中曾得到过光亮、細晶和在阴极表面均匀分布的鋅鍍层^[46, 47]。Л.А. 別里雅柯娃制訂的电解液成份如下（克/升）：34 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ；137 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ；84 Na_2HPO_4 ； $\text{pH} = 9.0$ ；沉积在溫度 35—40°C 和电流密度 0.5—1.5 安培/分米²下进行。

現在已知有添加醋酸銨和糊精的比較浓的电解液。

也有人介紹下列成份的含檸檬酸盐及鉬酸的焦磷酸溶液

鍍錫、鍍鎳及鍍鉛的焦磷酸电解液 表 7

电解液成分（克/升） 和沉积条件	鍍 层		
	錫	鎳	鉛
被沉积的金属	32.4	29.4	20.7
P_2O_7	164.2(Na)	234.8(K)	79.2(Na)
添加剂	10 糊精； 1 动物胶	33.3 檸檬酸 銨	1 胶
pH	9.0	9.5	9.8
溫度，°C	60—80	60	50
最大阴极电流密度，安培/分米 ² ①	5.0	6.0	5.0
阴极电流效率，%	91—100	86—93	97—100

① 溶液建議攪拌。

(克/升): 21.7Zn; 169.9P₂O₇; 15 檸檬酸鉍; 5 鉬酸;
pH=8.5; 電鍍在溫度 55°C 和電流密度 4.5 安培/分米² 的
條件下進行[41, 47]。

拉馬恰爾研究了從焦磷酸溶液中電積錫、鎳、鉛及其他
金屬。

他所建議的溶液成份和沉澱條件列於表 7 中[40, 41]。

胺類及銨鹽電解液

氨和很多金屬形成牢固的絡合物[32]。

鍍銅[49, 50] 和鍍鋅[51, 52] 的氨電解液曾經被詳細研究
過。已經確定，從這些電解液中可以得到細晶和分布均勻的
鍍層。但是由於氨的揮發性使氨電解液不穩定，因而這些電
解液未必能找到廣泛的實際應用。

採用微酸性或中性介質中的銨鹽及胺類電解液比較有前
途。胺類比氨穩定，而且和很多金屬形成牢固的絡合物。

銨鹽電解液 在微酸性或中性介質中銨離子能和鋅、銅
及其他金屬形成 $[Zn(NH_3)_2(H_2O)_n]^{2+}$ 型式的絡合陰離子。
在含有 NH₄Cl 的溶液中，鋅沉澱時有很大的陰極化現象
[54, 53]。在銨鹽電解液中能以很高的電流效率沉澱出細晶有
光澤的鋅鍍層。銨鹽電解液的均布能力接近氯化物溶液
(表 8)。

銨鹽電解液只在中性和酸性介質中穩定。溶液最佳 pH
值等於 5.5—6.5。

推薦[55] 下列成分的電解液作鍍鋅之用 (克/升):

1) 30—35ZnO; 200NH₄Cl; 40—50NH₄CNS; 1 木
工膠;

2) 14ZnO; 250NH₄Cl; 20H₃BO₃; 2 硫脲; 1 木工膠。

不同鍍鋅電解液的均布能力[54]

表 8

電 解 液 克/升	均布能力 %
酸性溶液 $200\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $100 \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$; $30\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; 10糊精	0
氨電解液 [51]	+ 6
氰化物電解液 45ZnO ; 15NaOH ; 75NaCN	+ 25
鉍鹽電解液 $60-65\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $150\text{NH}_4\text{Cl}$; $20\text{H}_3\text{BO}_3$; $20-25\text{NH}_3$; 2 動物膠	+ 20

在溫度 $20-40^\circ\text{C}$ 和電流密度 $1.5-2$ 安培/分米² (第一類溶液) 和 $0.7-1.5$ 安培/分米² (第二類溶液) 的條件下, 能沉澱出細晶鍍層, 陰陽極電流效率接近 100%。這些電解液具有接近氰化物溶液的均布能力, 而且比鹼性溶液要穩定得多。

E.Γ. 特魯茨[56] 介紹過類似成分的溶液。

B.A. 普林建議採用以硫酸鋅和氯化鉍為基的電解液:
 $50-100$ 克/升 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $150-200$ 克/升 NH_4Cl ; $0.5-1$ 克/升動物膠; $\text{pH}=5.5-6$ 。沉澱在室溫和電流密度 $0.5-1$ 安培/分米² 的條件下進行。

鉍鹽電解液用於靜止槽和轉鼓槽中。鉍鹽電解液的優點是無毒, 均布能力高, 穩定, 成分簡單。但是與氰化物溶液相比, 在鉍鹽電解液中沉澱出的鍍層結晶粗些。

鉍鹽電解液也被推薦用於鎘的電積[53]。溶液成分 (克/升): 40CdO ; $250(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 5 糊精; 3 硫脲; $\text{pH}=6.3-3.0$ 。緊密的細晶鍍層可以在溫度 $20-40^\circ\text{C}$ 和電流密度 $1.5-2.0$ 安培/分米² 的條件下取得。均布能力比硫酸和硼氟酸溶液高。

乙二胺電解液 乙二胺 $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ (En) 和一系列