

文章编号: 1001 - 9014(2008)02 - 0091 - 04

化学镀镍在红外焦平面制作中的应用

何少伟^{1,2}, 王兴治¹, 戴君^{1,2}, 陈四海^{2,3}, 赖建军^{1,2}, 黄鹰^{1,2}, 易新建^{1,3}

(1. 华中科技大学 光电子科学与技术学院, 湖北 武汉 430074; 2. 光电国家实验室, 湖北 武汉 430074;

3. 华中科技大学 图像处理和智能控制教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要:在非致冷红外焦平面制作过程中引入化学镀镍实现光敏元阵列与读出电路的互连. 该方法具有选择沉积、不需要外部电源的优点. 在 32×32 非致冷红外焦平面阵列器件的制作中采用化学镀镍方法可实现超过 85% 互连成功率. 测试结果表明: 该方法被证实为一种实现焦平面和读出电路互连的简单、可靠的方法.

关键词:互连; 选择性沉积; 化学镀; 红外焦平面

中图分类号: TN215; TQ15 **文献标识码:** A

APPLICATION OF ELECTROLESS Ni PLATING IN INFRARED FPA FABRICATION

HE Shao-Wei^{1,2}, WANG Xing-Zhi¹, DAI Jun^{1,2,3}, CHEN Si-Hai^{2,3},
LA I Jian-Jun^{1,2}, HUANG Ying^{1,2}, YIN Xin-jian^{1,3}

(1. School of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;

2. The national Laboratory for Optoelectronics, Wuhan 430074, China;

3. The key Laboratory of Education Ministry for Imaging Recognition and Intelligence Control, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Electroless nickel plating (ENP) is introduced to realize interconnection for a photosensitive array and CMOS read-out circuit (ROIC) in uncooled infrared focal plane array (URFPA) fabrication process. It has advantages of selective deposition and no requirement for external current source supply. The effective interconnection percent can be over 85% by using this technology for 32×32 URFPA fabrication process. The method is certified as a simple, low cost and reliable method for interconnection between RFPAs and ROICs.

Key words: interconnection; selective deposition; electroless nickel plating; RFPAs

引言

非致冷红外探测器阵列 (URFPA) 通过近 30 年的发展, 已经取得了很大的成就, 它的性能正在逐步逼近致冷型红外探测器. 由于 URFPA 无需致冷, 因而具有成本低、重量轻、寿命长和易于维护的优点^[1-4].

国内对该器件的研究基本处于起步阶段, 很多的研究主要集中在材料及器件的一般性原理的探索中^[5-7]. 我们在国内首先探索了 32×32 非致冷红外探测器阵列器件的研制工作.

在红外焦平面制作中, 通过微机械加工方法将

桥式红外阵列微传感器集成到 CMOS 读出电路上. 在制作工艺过程中, 平坦化后的读出电路的互连孔需要填充金属, 以实现与上层微桥结构和下层读出电路之间的层间互连. 本实验不是采用常用的真空淀积方法而是引入化学镀镍方法选择性生长金属镍填充互连孔, 探索在 32×32 非致冷红外焦平面阵列器件制作中应用化学镀镍方法实现层间互连. 化学镀方法可以在低于 100 °C 下的水溶液中沉积金属薄膜于导体表面, 它具有选择沉积性. 沉积溶液中包括金属离子、还原剂、稳定剂等. 该技术在电子技术中的应用越来越广泛, 例如用在印刷电路板的制造和微电子芯片封装技术中^[8,9]. 该技术具有以下优点:

收稿日期: 2006 - 12 - 21, 修回日期: 2007 - 06 - 14

基金项目: 国家自然科学基金 (60677025) 资助项目

作者简介: 何少伟 (1970-), 男, 湖北天门人, 在读博士, 从事 MOEMS 研究工作.

Received date: 2006 - 12 - 21, revised date: 2007 - 06 - 14

镀层的结晶细致、孔隙率低、镀层均匀、薄膜内应力小以及化学稳定性好。通过对读出电路上的互连孔金属 A1 进行活化处理,使填充金属镍选择性生长在互连孔金属(含焊点)上。对器件的测试结果表明:互连成功率超过 85%。为了比较,试验还采用了电子束蒸发方法来实现互连,虽然互连成功率也很高但是工艺过程复杂,周期长。而化学镀方法无需掩模,操作简单,工艺可靠,极大地缩短了工艺时间,达到高效、低成本、高可靠的目的,是一种值得推广的方法。

1 化学镀镍实验

1.1 读出电路芯片的平坦化处理

实验中使用的芯片阵列规模为 32×32 ,阵列面积为 $5\text{mm} \times 6\text{mm}$ CMOS 读出电路,读出电路表面钝化材料为 Si_3N_4 。CMOS 读出电路表面 SEM 照片如图 1 所示,虚线方框区为一个像元区,像元面积为 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$,设计的光敏区的面积为 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$,X 方向为列方向电极,Y 方向为行选电极。在 CMOS 制作过程中读出电路表面产生了 $2\mu\text{m}$ 的不平度,如图 2 所示,需要对芯片的表面进行平坦化处理。实验采用 Dow Chemical Company 生产的 BCB (Benzocyclobutene polymer) 树脂对芯片的表面进行平坦化处理,通过 2 次涂敷 $4\mu\text{m}$ 厚 BCB 并用回刻的方法使芯片的表面达到 60nm 的不平坦度,如图 2 (b) 所示。随后用 SiO_2 做掩模通过反应离子刻蚀 (RIE) 方法刻蚀 BCB 将连接孔露出来,使接触金属 A1 暴露在外面,如图 2 (c) 所示。

平坦化后芯片上的互连孔直径为 $6\mu\text{m}$ 、高约为 $2\mu\text{m}$,为保证电互连的成功,必须在互连孔的铝硅合金上填充 $2\mu\text{m}$ 厚的金属。实验选用化学镀镍沉积互连金属镍填充互连孔。

1.2 活化预处理

化学镀镍之前需要对芯片互连孔及焊点进行清

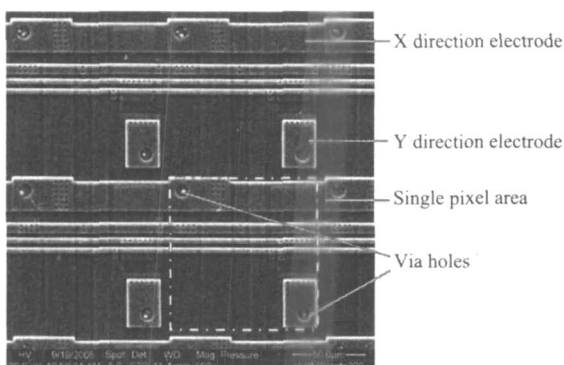


图 1 CMOS 读出电路表面 SEM 图
Fig 1 SEM picture for CMOS ROIC surface

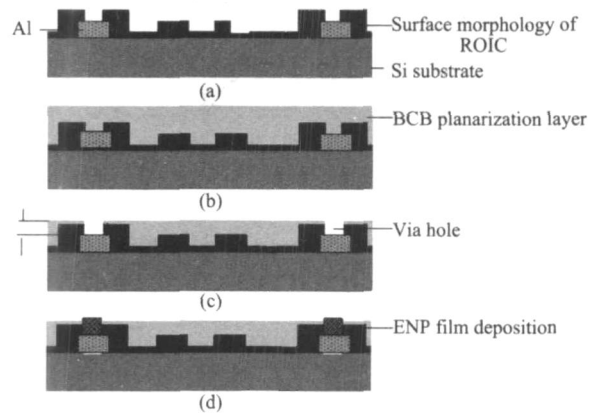


图 2 在不平坦的读出电路上化学镀镍工艺过程 (a) 读出电路表面形貌 (b) 用 BCB 实现平坦化 (c) 通过 RIE 刻蚀出互连孔 (d) 化学镀沉积互连金属

Fig 2 The process flow of electroless nickel plating on unflatness ROIC (a) surface morphology of ROIC (b) planarization for CMOS ROIC dies using BCB resin (c) etching via hole by RIE (d) deposition contact metal by electroless nickel plating technology

洗、活化(锌化或钯化)预处理。方法是用稀释的 HF 溶液清洗芯片以去除芯片表面的油污及氧化层,并用去离子水冲洗芯片以清除残留的 HF 酸。随后对 A1 表面进行前处理,常用的方法是通过对 A1 表面的钯化或锌化处理达到活化的目的。我们发现钯化后镍会在没有金属的地方沉积,因此最终选择了锌化作表面活化,通过采用二次浸锌方法^[9],可以在铝硅合金表面形成均匀覆盖、晶粒密度分布均匀的锌和镍核沉积在铝表面,为后续化学镀镍提供充足的催化核心,提高镍镀层附着力^[10,11]。经过试验最终确定的活化剂的组分如表 1 所列。

1.3 化学镀工艺

化学镀镍溶液组分如表 2 所列。实验将化学镀溶液的 pH 值控制在 4.6 ~ 4.8 通过调节镀液温度控制沉积速度,温度越高镀速越快,试验中镀液温度控制在 75 ± 0.1 ,沉积速度控制在 $4\mu\text{m}/\text{h}$,同时整个过程中需要不断搅拌,以保证生长过程中产生的气体能充分的从填充孔中排出,从而得到致密、生长

表 1 浸锌液配方

Table 1 Formule of zincate solution

药品名称	分子式	配比
氢氧化钠	NaOH	40 g/L
氧化锌	ZnO	0.5 g/L
硝酸钠	NaNO ₃	0.3 g/L
酒石酸钾钠	C ₄ H ₄ KNaO ₆ ·4H ₂ O	1.5 g/L
三氯化铁	FeCl ₃	0.25 g/L
氯化镍	NiCl ₂	0.75 g/L

表 2 化学镀镍溶液组分

Table 2 Solution composition of electroless nickel

序号	药品名称	药品分子式	配比	作用
1	硫酸镍	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14g/L	镍盐
2	次亚磷酸钠	NaH_2PO_2	10g/L	还原剂
3	醋酸钠	CH_3COONa	3g/L	缓冲剂
4	柠檬酸钠	$\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3.5g/L	络合剂
5	醋酸铅	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	5ppm	稳定剂

高度一致的镍镀层. 实验中通过控制化学镀镍时间来严格控制生长的金属镍的高度.

对沉积在陪片上的镍层的电阻进行测试, 其电阻值小于 1 ,对陪片在 300 氩气氛下退火 30min, 电阻值基本没有变化, 这个电阻值和氧化钒薄膜的电阻相比几乎可以忽略, 表明沉积的镍层适合作为金属互连.

图 3 为在芯片上经过化学镀沉积镍金属后的显微图片.

对化学镀镍后的芯片表面用台阶仪测试, 台阶测试的结果显示, 化学镀后镍柱高出平坦化面 100nm, 镍柱表面较为光滑. 适合于下一步工艺的进行.

1.4 化学镀互连成功率测试

为了测试化学镀后的芯片互连成功率, 以确定该方法的可靠性, 我们对经过化学镀的芯片在探针台上进行了检查. 由于互连通孔金属镍柱很小只有 6μm, 而我们所用的探针测试需要的下针有效面积最少 75μm × 75μm, 需要将被测点引出以满足下针的面积. 因此一个像元只能测试一个电极; 同时考虑到 X、Y方向的电极中 X方向的电极与读出电路的公用电极(地线)相连, 因此我们只能对 X方向的化学镀连通情况进行测试.

为此我们特别设计了掩模版并通过溅射法将 200nm 的 Ni-Cr合金层溅射在化学镀后的镍柱上,

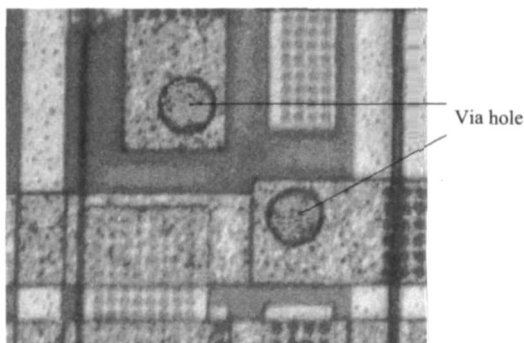


图 3 互连孔在化学镀镍后显微照片
Fig 3 The SEM micrograph picture for via holes after electroless nickel plating

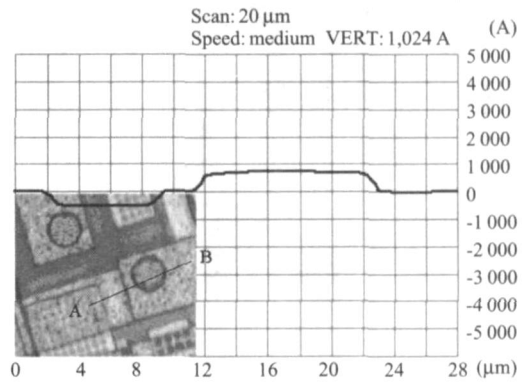


图 4 单个连接孔从 A 到 B 台阶测试结果
Fig.4 Measured surface profile of across the filled via hole from A to B

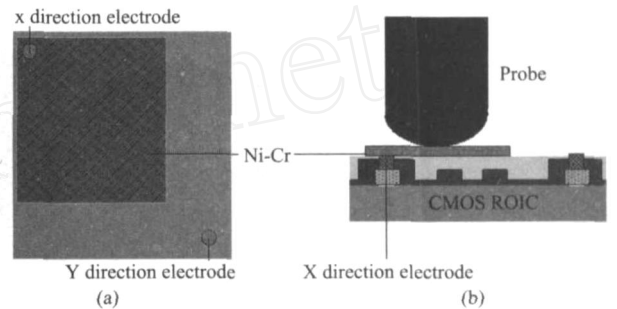


图 5 互连测试示意图(a)测试单元的俯视图(b)测试单元的剖视图
Fig.5 Schematic representation of interconnection test (a) plan view (b) cross-sectional view

形成如图 5 所示的 80μm × 80μm 图形以方便探针测试, 回路的另一端从公用电极的封装焊点(公用地)引出, 采用惠斯通电桥测试回路的电阻, 当测试电阻大于 1 时认为互连不可靠. 实验对经过化学镀的 5组共 10个芯片进行了测试. 测试统计结果如表 3所列.

表 3 经化学镀后 32 × 32焦平面互连成功率统计表
Table 3 The statistics of effective interconnection percent by using ENP for 32 × 32 FPA

1	1 - 1#	100	85%
	1 - 2#	80	85%
2	2 - 1#	80	85%
	2 - 2#	100	86%
3	3 - 1#	100	87%
	3 - 2#	80	90%
4	4 - 1#	100	84%
	4 - 2#	100	83%
5	5 - 1#	100	86%
	5 - 2#	80	85%
平均值			85.6%

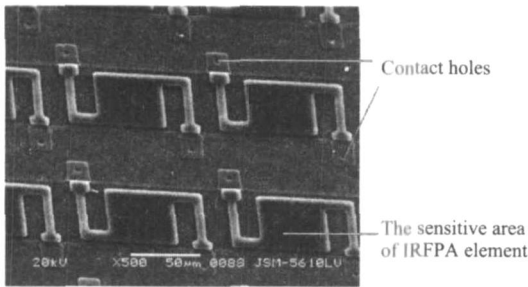


图5 32×32非致冷红外焦平面阵列器件 SEM图
Fig 5 The SEM picture for 32×32 uncooled IRFPA

尽管只是随机测试了其中一部分的化学镀通孔的连通情况,但是从统计的观点应该可以反映整体的互连成功率的情况,因此从上面的统计表中我们可以看到经过化学镀后互连的成功率优于85%。

2 32×32FPA芯片实验结果

在经过化学镀镍,完成了互连孔的填充后,再通过微机械加工方法完成红外焦平面的制作工艺,实现焦平面与读出电路的电连接及机械连接。得到如图5所示的阵列结构。

在面黑体辐照下,8~12μm波段窗口和1V的脉冲偏置电压下对阵列器件进行测试。测试结果表明:器件的响应率为 1.4×10^4 KV/W,探测率为 5×10^8 cmHz^{1/2}/W。由于制作过程中需要经过很多的工序,最终的器件整体性能还远不能达到我们的使用要求,还需要在后续工艺上作更多的研究。

镀镍试验同时也用电子束蒸发技术采用剥离(Lift-off)工艺来实现互连。该方法需要通过光刻、去胶(去除互连孔及焊点中可能的残余光刻胶)、电子束蒸发镍、剥离(溶解光刻胶去除多余的金属)等多道工序。虽然最终的测试表明化学镀镍与常规蒸发镀镍都能够成功地实现互连,两者在互连的成功率上相差不大(后者略优于前者),但是在设备、操作和费用方面,前者比后者简单、合算得多。

3 结语

在红外焦平面的制作中,引入了化学镀镍的方

法来实现互连。测试结果表明:互连成功率优于85%,器件的能达到的响应率为 1.4×10^4 KV/W,探测率为 5×10^8 cmHz^{1/2}/W。相对于常用的蒸发方法化学镀镍方法无需掩模,工艺和设备简单,操作方便,工艺可靠,极大的缩短工艺时间,达到高效、低成本、高可靠的目的。

REFERENCES

- [1] Wood R A. High-performance infrared thermal imaging with monolithic silicon focal planes operating at room temperature [J]. *IEEE on IEDM*, 1993, 175—177.
- [2] Herring R J, Howard P E. Design and performance of the ULTRA 320×240 uncooled focal plane array and sensor [J]. *Proc SPIE*, 1996, **2746**: 2—12.
- [3] Murphy D F, Ray M, Wyles R, et al. High-sensitivity (25-um pitch) microbolometer FPA's and application development [J]. *Proc SPIE*, 2001, **4369**: 222—229.
- [4] Hay KA, Van Deusen D. Uncooled focal plane array detector development at infrared vision technology corporation [J]. *Proc SPIE*, 2005, **5783**: 514—525.
- [5] LU Hai-Tao, CHEN Yong-Ping, LANG Ping-Zhi. Design and fabrication of micro-cantilever uncooled infrared detector [J]. *J. Infrared Million Wave* (刘海涛,陈永平,梁平治.微悬臂梁非致冷红外探测器的研制.红外与毫米波学报), 2006, **25**(1): 46—49.
- [6] WANG Hong-Chen, YI Xin-Jian, CHEN Si-Hai, et al. Fabrication of vanadium oxides polycrystalline thin film for uncooled IR detectors [J]. *J. Infrared Million Wave* (王宏臣,易新建,陈四海,等.非致冷红外探测器用氧化钒多晶薄膜的制备.红外与毫米波学报), 2004, **23**(1): 64—66.
- [7] WANG Hong-Chen, YI Xin-Jian, CHEN Si-Hai, et al. Fabrication of for 128-element uncooled VOx thermal IR detectors [J]. *J. Infrared Million Wave* (王宏臣,易新建,陈四海,等.128元非致冷氧化钒红外探测器的制作.红外与毫米波学报), 2004, **23**(2): 99—102.
- [8] Hutt D A, Liu C Q, Conway P P, et al. Electroless nickel bumping of aluminum bondpads [J]. *IEEE Trans on components and Packaging Technology*, 2002, **25**: 98—105.
- [9] Simon J, Zakel E, Reichl H. Electroless deposition of bumps for TAB technology [J]. *Metal Finish*, 1990, **88**: 23—26.
- [10] A schenbrenner R, Osmann A, Beutler U, et al. Electroless nickel/copper plating as a new bump metallization [J]. *IEEE Trans Comp, Package Manufact Technol B*, 1995, **18**: 334—338.
- [11] Qi G, Chen X, Shao Z. Influence of bath chemistry on Zincate morphology on aluminum bond pad [J]. *Thin Solid Film*, 2002, **406**: 204—209.