

图6 陶瓷型和薄膜型传感器的特性

动无法传进来,再加上质量轻,共振的频率高,因此能耐噪声。

当外部的环境温度(室内温度)发生急剧变化时,也会产生热电电流而形成噪声。但是薄膜型传感器的 MgO 基板是用吸热材料做成的,而且聚酰亚胺树脂的热传导系数也很小,因此,环境温度的急剧变化也不会带来影响。

综上所述,微型薄膜型传感器是一种高性能的传感器,其高灵敏度、防噪声、快速检测等特性使其应用范围得到很大扩展。

5.2 光学特性

图7是衍射型微型镜的灵敏度的角分布特性,分为 $N=2$, $N=4$ 相位和没有镜头3种情况。2相位、4相位的相对灵敏度与没有镜头的

情况相比,分别为5倍和10倍。由此可见,DOE镜头具有良好的集光特性。

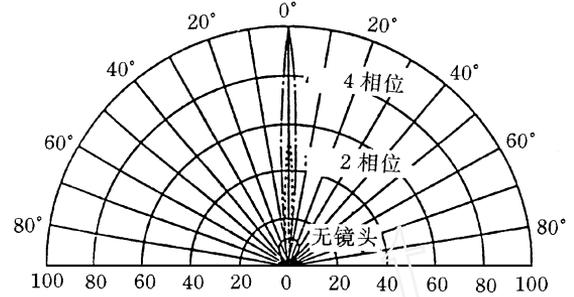


图7 衍射镜灵敏度角分布特性

微型红外探测器的主要性能指标如下:检测频率为 85Hz;电源电压为 4.5—12V;波长范围为 7—14μm;灵敏度 ($T_b = 37$) 为 $20_{type} \mu V_{p-p} / \text{deg}$;噪声为 $0.23_{type} \mu V_{p-p} / \sqrt{\text{Hz}}$;尺寸为 21.5cm × 12.6cm × 8.1cm。

传感器的薄膜化技术加上光学系统的改进和斩波器的更新,红外测温系统已经从仪器级发展成为器件级,实现了超小型、高灵敏度、快速响应以及低成本的目标,应用范围将变得更加广阔。

参 考 文 献

- [1] Kawaguri M, Hashimoto K, Morinaka K *et al.* National Tech. Report, 1997, 43(4): 423—430
- [2] 宋雪君, 杨颜峰. 物理, 1995, 24: 417—423
- [3] 陈岩松. 物理, 1992, 21: 197—200
- [4] 杨国桢, 顾本源. 物理, 1994, 23: 200—205
- [5] Nomura K, Masutani T, Kotani T *et al.* National Tech. Report, 1997, 43(4): 412—422

集成电路铜连线技术*

徐毓龙 周晓华 徐玉成

(西安电子科技大学 西安 710071)

摘 要 简要介绍了集成电路铜连线技术及其应用。

关键词 铜连线技术, 低介电常数介质, RC 时间常数

* 1998-08-27 收到初稿, 1998-11-10 修回

COPPER INTERCONNECT TECHNOLOGY FOR ICs

Xu Yulong Zhou Xiaohua Xu Yucheng

(Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract The copper interconnect technology for ICs and their applications are introduced briefly.

Key words copper interconnect technology, materials with low dielectric constants, RC time constants

1 引言

从60年代初第一块集成电路(IC)问世起, IC中各元件之间的连线一直用着金属铝。IC的布线工艺由蒸铝和腐蚀铝(简称刻铝)工序完成。早期的铝线都做在同一平面上,称作单层连线。随着IC集成度的提高,走线越来越复杂,单层连线发展成多层连线,有的IC铝线有六七层之多。同层铝线之间及相邻各层铝线之间的电绝缘由介电常数为4的二氧化硅绝缘材料完成。以上这些是半导体界众所周知的事实。因此,当1997年12月,IBM, Motorola和TI(德克萨斯仪器)公司在华盛顿特区举行的国际电子器件会议上宣布他们将于1998年推出铜连线IC时^[1],引起了不小的轰动,记者们纷纷采访有关公司的科学家和工程师,探询铜连线技术的优点、铜连线的制作工艺等详细情况。

2 铜连线的优点

和铝连线相比,铜连线有许多优点^[2]:(1)铜连线的电阻 R 比铝连线小。铜的电阻率为 $1.7\mu\Omega/\text{cm}$,铝的电阻率为 $3.1\mu\Omega/\text{cm}$ 。(2)铜连线的寄生电容比铝连线小。因为铜的电阻率低,导电性能好,在承受相同电流时,铜连线截面积比铝连线小,因而相邻连线间的寄生电容 C 小,信号串扰也小。这就是说,铜连线的时间常数 RC 比铝连线小,信号在铜连线上传输的速度比在铝连线上快,这对高速IC是很有利的。

(3)铜连线的电阻小,导致铜连线IC功耗比铝连线IC功耗低,这很有利于电池供电的笔记本电脑和移动通信设备。(4)铜的另一个优点是它的耐电迁移性能远比铝好。IBM公司发现,与传统的铝连线相比,铜连线的抗电迁移性能提高了两个数量级,而且没有因应力迁移而产生连线空洞,因而有利于IC可靠性的提高。(5)铜连线IC制造成本低。IBM公司发明的实现铜连线的双镶嵌(dual damascene)IC工艺,比铝连线IC工艺减少了约20%—30%的工序,特别是省略了腐蚀铝等难度较大的瓶颈工序。另外,铜连线的布线层数目比铝连线少,对某些IC器件,铜连线的层数只有铝连线的一半^[2]。上述两点都能明显降低铜连线IC的制造成本。

由于铜连线IC的速度、功耗、可靠性等性能好、成本低,许多大型集成电路制造工厂都开展了IC铜连线开发项目。IBM公司开发了CMOS 7S工艺,该工艺用六层铜连线,晶体管的有效沟道长度为 $0.12\mu\text{m}$ (版图上为 $0.2\mu\text{m}$),电源电压1.8V,集成度高达200万个晶体管。1998年1月,IBM已将CMOS 7S工艺用于生产专用集成电路ASIC。Motorola公司的开发项目与IBM相似,它的第一批产品是快速静态随机存储器SRAM。

铜连线降低了电容和信号串扰效应,若将铜连线和低介电常数的绝缘材料相结合,这种铜/低介电常数介质连线,速度将会更快,串扰将会更小。TI公司将低介电常数介质技术用于铜连线工艺中^[3],它最近耗资1.5亿美元建成了新的中心进行铜/低介电常数介质连线技术

的开发项目. 3 年前该公司就开始低介电常数介质——一种硅基介质的研究开发工作, 早期开发的介质称为 xerogel, 是一种多孔二氧化硅, 它的介电常数会随气孔率而变, 用气孔率为 75%、介电常数为 1.8 的 xerogel 制成铜/ xerogel 连线, 电阻比铝/ 二氧化硅连线降低 30%, 电容降低 14%^[1]. 近来 TI 公司又开发出称作纳米玻璃的介质, 它的介电常数能在 1.3 到 2.5 之间变化. 这种低介电常数介质可用惯用的自旋镀膜机镀到硅片上, 然后烘干排除溶剂. 和 xerogel 相比, 它在几分钟内便可排除溶剂, 而 xerogel 需要数小时. 而且纳米玻璃温度稳定性也比 xerogel 好, 在 800 °C 下仍很稳定^[3]. TI 公司研究了 0.3 μ m 铜/ 纳米玻璃连线 IC, 和铝/ 二氧化硅连线 IC 相比, 电阻相同时, 电容下降 36%; 电容相同时, 电阻下降 46%; RC 性能几乎提高 1 倍^[3].

3 铜连线制作工艺

综上所述, 铜连线技术的优点是明显的, 那么为何铜连线技术迟到今天才开始用于 IC 生产上呢? 原因很多, 其中最主要的是铜和铝的重大区别: 铜是快扩散物质, 一旦进入器件的有源区(晶体管的源/漏/栅区), 器件就会失效. 这就要求开发出全新工艺, 保证铜连线和 IC 的其他部分完全隔离.

IBM 公司最先开发出双镶嵌(dual damascene)工艺. 图 1 是由双镶嵌工艺实现的铜连线结构, 在半导体晶片上, 依次是绝缘介质层、阻挡铜扩散的钽/氮化钽阻挡层、铜籽晶层、填充引线沟槽的电镀铜层.

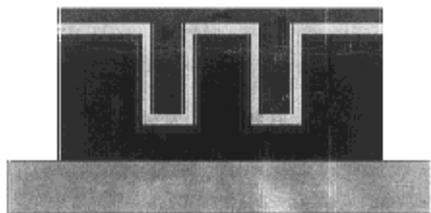


图 1 铜连线结构^[2]

图 2 是双镶嵌工艺的主要流程: (1) 介质层沉积; (2) 接线“柱”光刻和反应离子腐蚀; (3) 连线光刻和反应离子腐蚀; (4) 接线“柱”和连线沟槽电镀铜填充; (5) 金属化学-机械抛光; 最后在抛光后的铜上覆盖一层氮化硅.

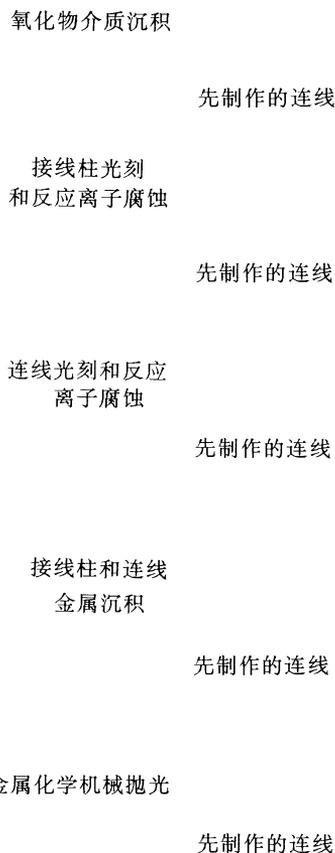


图 2 双镶嵌 IC 工艺^[1]

图 3 是 IBM 的 CMOS 7S 工艺制作的六层铜连线.

铜引线镶嵌工艺是在一种古老的技艺基础上开发出来的. 在该技艺中, 用金属填满从周围材料中挖出的沟槽的办法来得到所需要的金属线图案, 在双镶嵌 IC 工艺中, 用电镀铜填满在绝缘介质中挖出的接线“柱”和连线沟槽, 然后进行化学-机械抛光使其高度平整. 可见铜沉积是十分重要的. 现在有 5 种淀积铜的工艺, 即: PVD, CVD, 电离 PVD, 电镀和化学镀. 目前还很难说哪种工艺最好. IBM 采用的电镀工

物理

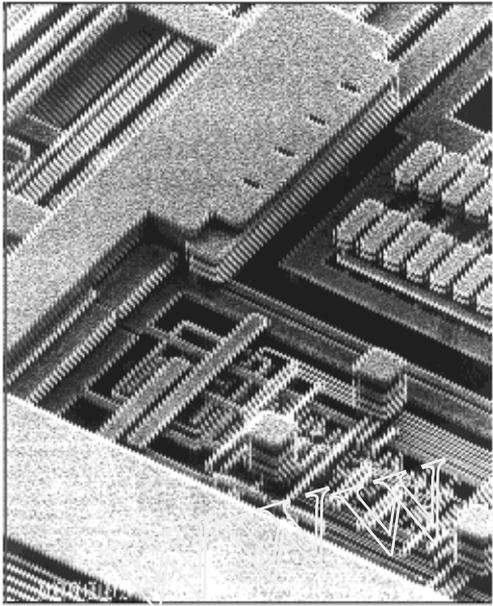


图3 CMOS 7S 工艺制作的六层铜连线

艺,要求在阻挡层之上淀积约 500\AA 厚的铜籽晶层.通常,籽晶层是用 PVD 法淀积的,人们也在研究用 CVD 法淀积铜籽晶层.有厂商计划于 1999 年推出用于淀积阻挡层和铜籽晶层的新

设备.估计第一个用这种设备实现的阻挡层/籽晶层工艺将是 PVD 钼和 CVD 铜工艺.

4 结论

最佳 IC 连线系统是铜/低介电常数介质连线系统,与传统的铝/二氧化硅连线系统相比,它有如下优点:金属连线层数目少;芯片速度高、功耗低;制造成本低;耐电迁移性能好、芯片可靠性高. IBM, Motorola, TI 等公司已于 1998 年将铜连线技术应用到微处理器、SRAM 和 DSP(数字信号处理器),预计今年将会扩展到其他应用领域.

参 考 文 献

- [1] Geppert L. IEEE Spectrum, 1998, 35: 23—25
- [2] Singer P. Semiconductor International, 1998, 21(6): 91—98
- [3] Laura P. Semiconductor International, 1998, 21(5): 15—19

(上接第 384 页)

3.17 功能纳米准一维结构制备和研究

在制备纳米碳管技术的基础上,发展出一类制备纳米尺度的半导体、半金属细丝(包括实心的和空心的)技术,并作相应的研究,研究内容包括:

(1)发展制备纳米尺度半导体、半金属细丝的技术,研究其生长机理和条件,探索控制或改变它们的尺度的方法和实现一定规则排列的方法,探索改变其成分或掺杂的方法;

(2)研究这类纳米结构的晶体构造、微结构和它们的电子结构、晶格振动、量子尺寸效应、量子输运性质、外磁场的影响等,并进行理论分析和计算;

(3)发展测量这类纳米结构的输运性质、光学性质、光散射性质、发光性质等的方法.

3.18 电(磁)流变液的机理研究(与力学学科交叉的领域)

电(磁)流变液有广泛应用前景,电(磁)流变液的发展取决于对材料及电(磁)流变液效应机理的理解.着重了解在剪切场下,不同电(磁)流变液的介电、电导等电学性质,流变性、粘弹性等力学性质,电(磁)流变

液行为和极化、损耗的关系,以及颗粒结构同电(磁)流变液的电学、力学性质的关系.从理论上探索在剪切场下,载荷子怎样受电场的作用而迁移,了解电(磁)流变液力学性质的微观机制.研究电(磁)流变液在动态边界条件下的复杂流动特性和特殊流动规律.力求为不同应用背景的电(磁)流变液材料设计提供依据,并从实验上检测材料设计方案.

3.19 核固体物理学

属于与物理 学科交叉的领域,由物理 学科受理.

3.20 硅基纳米半导体发光材料研究

属于跨学部重点项目,由材料学部受理.

3.21 氧化物巨磁电阻

属于 1998 年确立的项目.

3.22 光学亚波长结构的超快现象研究

属于 1998 年确立的项目.

3.23 声空化物理和化学效应的机理研究

属于 1998 年确立的项目.