

半导体器件新工艺



浙江

半导体器件新工艺

(译文集)

浙江大学 五·七电机厂 编译
《新技术译丛》编译组

1971

半 导 体 器 件 新 工 艺

(譯文集)

五 • 七 电 机 厂 編 译
浙江大学 <新技术譯丛> 編譯組

★

浙江大学 <新技术譯丛> 編譯組出版

浙江大学印刷厂排版

杭州人民印刷厂印刷

內 部 发 行

工本費0.60元

出版说明

随着我国社会主义革命和社会主义建设的深入发展，一个“抓革命，促生产，促工作，促战备”的新高潮，正在电子工业的各个领域迅猛地兴起。

半导体工业是现代电子工业的基础。近年来，由于电子计算技术、雷达技术和空间技术的要求，使得半导体器件朝着“二微”（微型电路、微波器件）方向发展，出现了集成电路、大规模集成电路、微波集成电路和一系列新型的固体微波器件。与此相适应，也出现了许多制作半导体器件的新技术和新工艺。

为了满足我国电子工业发展的需要，我们遵照毛主席“洋为中用”的伟大教导，翻译出版了这本《半导体器件新工艺》（译文集），供从事电子工业的广大工人和科技人员参考。

本译文集共转载了国外有关半导体器件新工艺的文章十六篇，内容包括：化学抛光、有色掩模、电子束曝光、投影曝光、离子注入、高频溅射、固相扩散、硅烷外延、超声键合、梁式引线、塑料封装，以及污染和晶向的控制等。

毛主席教导我们：“应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化”。资本主义国家科技

刊物中所反映的资料，有些是故弄玄虚，有些则互相吹捧，追名逐利，它们是为垄断资本主义服务的。对此，我们在编译过程中作了一些删改。但由于我们活学活用毛泽东思想不够，业务水平不高，工作中可能有不少缺点和错误，欢迎广大读者批评指正。

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

目 录

硅的化学—机械抛光·····	(1)
有色掩模·····	(11)
光致抗蚀剂·····	(20)
投影掩蔽法·····	(34)
用扫描电子束进行图形曝光·····	(48)
离子注入技术·····	(59)
离子注入法在硅元件生产上的应用·····	(88)
高频溅射技术·····	(97)
掺杂氧化硅热扩散技术及其应用·····	(129)
由硅烷低温外延生长单晶硅·····	(139)
硅外延工艺的进展·····	(142)
铝丝超声键合的整定与评价·····	(155)
半导体器件的塑料封装与低压逆模塑·····	(165)
梁式引线工艺·····	(181)
在硅片上热生长“无钠”二氧化硅层·····	(190)
晶向对硅半导体工艺的影响·····	(196)

硅的化学-机械抛光

硅片的机械抛光大多采用磨蚀法。用逐级变小的磨粒对硅进行系统磨蚀，速度既慢成本又高，并且往往产生晶体结构有缺陷的表面。此类抛光的最先进方法是首先对硅进行化学腐蚀，然后再把变软的反应生成物磨掉。二氧化硅抛光系统即应用这种机理。在氧化锆抛光系统中，需加压力以产生必要的化学反应。

本文将论述不需要磨料的一种化学-机械硅抛光的新方法。各种导电率和不同的硅片晶向均可采用此法。发生的反应基本上是化学反应，在适当的系统控制下，表面不致受损。

抛光工序为：（1）把铜淀积在硅片表面上；（2）使硅氧化；（3）通过一种软度相宜的抛光布的作用，将金属铜从硅片表面除去；（4）硅片的被氧化部分变为氟硅酸盐而趋溶解。如图1所示。

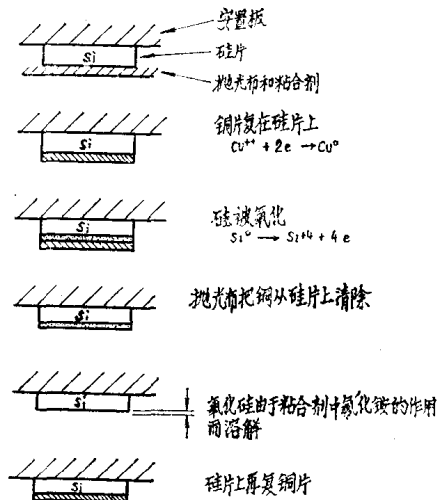


图1 化学-机械抛光法的淀积清除工序

抛 光 前 的 工 作

把硅单晶切片而获得硅片，通常采用的方法有：（1）用覆着金刚石的刀片来切片；（2）金属线切片；（3）磨料一粘合剂锯子切片；（4）带型锯切片。大直径的材料一般采用（2）、（3）或（4）的切片方法。非对称切片的晶体结构和几何形状的改善方法各个制造厂家是不相同的。必须了解损伤的深度，因为它直接影响抛光所需的时间。图2详细示出了为获得适宜于器件制造的最终表面可供参照的几种方法。

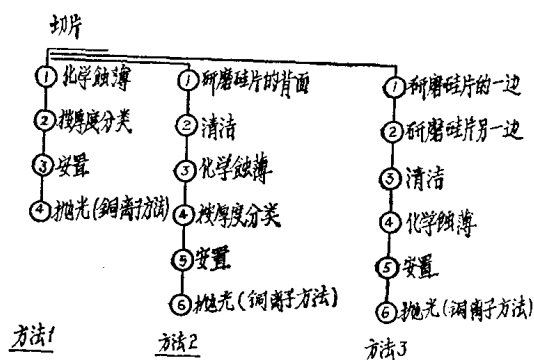


图2 抛光前常用的成形方法

方法1是较可取的，但难以达到高的切片质量。背面粗糙度应为30微吋或更低，锥度和弯曲度不得超出成品硅片的规格。这种质量控制通常只有在实验室条件下才能做到。

方法2大概是最实用的。研磨硅片背面即可消除切片的所有痕迹，同时也产生粗糙度可控的平滑表面。这对于在以后安装和抛光的时候确定夹持硅片之最大能力的条件是有价值的。研磨并不能将一切损伤从硅片背面去掉。切片条件必须使得弯曲度减至最小。

方法3是最差的，故不可取。如果成形操作不良而需要双面研磨的话，其后的清洁工序就必须非常谨慎小心。最终的抛光面应该确保觉察不到磨蚀作用。存在着掩埋的粒子会显露出来，但很难除掉（如果不除掉，掩埋的粒子在以后的外延淀积过程中会造成凸起或尖峰）。需要用化学蚀薄法把各种受损物质从硅片背面去除，并在硅片背面上形成一层可再生的清洁表面。这方法的另一优点是抛光周期可大大缩短，因为硅片正面的一部分或全部损伤层已被化学溶解。在这种情况下，抛光仅仅用来达到适当的平滑度、光洁度和边缘外形。

用一种酸介质来进行化学蚀薄极为重要。用碱进行化学蚀薄会造成边缘和背面粗糙不平，而使得抛光后去铜更为困难，故用一种酸介质来蚀平全部边缘和表面。降低边缘的粗糙度为的是使抛光过程中的边缘碎裂及伴随的破痕减至最少。

抛光时的清洁事项

普遍认为，要最后获得无伤痕的硅片就得消除抛光区的污染。为了提高成品合格率，特提出以下几点建议：

1. 在清洁无尘而又僻静的地区进行抛光。如果这一点办不到，可把各个抛光器件封装在有机玻璃箱中。箱子要用耐腐蚀材料做成，通入滤过的空气并在正压力下进行操作。

2. 应使抛光器件的作用部分易于清洁。

3. 不要让掌管研磨或其它粗磨料的人员去接触抛光装置，因为他们的指甲、头发或衣服上都可能粘附着磨料细粒。在抛光区不能进行机械加工或研磨。

4. 如果采用遮蔽技术，全部硅片和压力板在放入抛光台之前须彻底清洁一次，并检查硅片有无边缘裂损的痕迹。

5. 将抛光布储于无尘箱内。各种磨料应加标记并分别贮备。

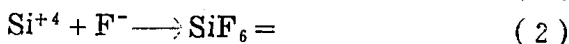
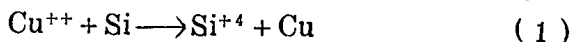
6. 进行预防性的维护。不要让抛光碎屑和磨料残末积聚在抛光器件上及其周围。经常检查抛光磨盘，因为它们可能发生偏斜或出现凹陷、刻痕及疤痕等。

7. 非操作人员（如维修、管理人员等）也应熟悉操作规程，闲人不得进入抛光地区。

化学—机械抛光法因为不用磨料，故内部能保持清洁。

抛 光

这种硅抛光方法基于铜—取代反应，在反应中铜离子(Cu^{++})被还原为金属铜，而硅被氧化成 Si^{+4} 。金属铜淀积在硅片表面，然后用适当的抛光布将铜除掉。同时，氧化硅由于和氟离子起反应生成氟硅酸盐而趋于溶解；因此一层新生的硅暴露于铜离子以作进一步氧化。下面的反应是在一种酸介质中进行的。



抛光试剂或粘合液是硝酸铜和氟化铵的一种混合溶液。硫酸铜或另一适当的酸盐可代替硝酸盐。在混和抛光试剂的时候采用不同纯度（技术品级或试剂品级）的上述两种化学药品，结果並沒有发现明显的差别。

抛光速率和表面

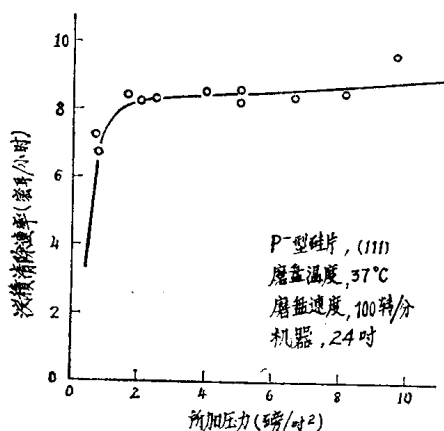


图3 淀积清除速率与所加压力的函数

形状要受化学影响。

当采用铜离子方法时，机械抛光系统的常规元件即处次要地位。如图3所示，当压力达到2磅/吋²左右的某一阈值以后，它的影响就微乎其微了。同样，诸如磨盘转速（见图4）、粘合液进给速率和抛光布类型等机械因素也均属次要。

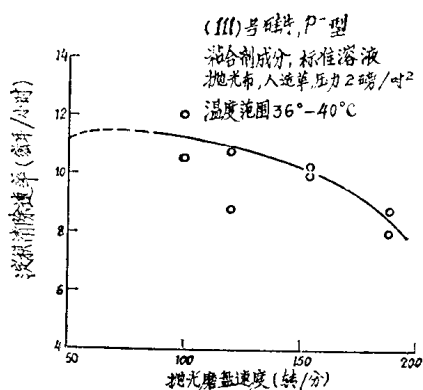


图4 淀积清除速率与磨盘速度的函数

确定抛光机理对于化学的依赖性之后，即设计了一种台面测试方法，藉此便能迅速测出溶液的反应速度。不需要特殊装置，就能对两组溶液进行测试。在确定表面质量和铜的粘附性之间的关系以前，仅仅检测第一组溶液的反应速度。第二组溶液的双重目的是既要达到最佳反应速度，又要具有粘合最紧密的铜淀积，参看表I和表II。

表1 第一组抛光溶液

		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
H ₂ O	毫升	1000	1300	1600	1900	2100	2400
NH ₄ F(40%)	毫升	1400	1100	800	500	300	—
Cu(NO ₃) ₂ · 3H ₂ O	克	150	150	150	150	150	150
测计的NH ₄ F百分比		22.6	17.8	12.9	8.1	3.3	0.0

表 II 第二组抛光溶液

		(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
H ₂ O	毫升	1200	1200	1200	1200	1200
NH ₄ F(40%)	毫升	—	63	189	315	630
Cu(NO ₃) ₂ · 3H ₂ O	克	120	120	120	120	120
		(m)	(n)	(o)	(p)	(q)
H ₂ O	毫升	1200	1200	1200	1200	1200
NH ₄ F(40%)	毫升	—	62	185	308	615
Cu(NO ₃) ₂ · 3H ₂ O	克	60	60	60	60	60

表中的溶液全都用克、毫升来表示。必要的话也可测计当量浓度和克分子浓度。测试了好几种来源和级别的硝酸铜 · 3 份水[Cu(NO₃)₂ · 3H₂O]，它们之间的差别甚微。

台面测试能发现各种溶液在反应速度方面的巨大差别，而在抛光磨盘上则难以发现。例如，在台面测试中发现第一组的溶液(d)比溶液(a)反应速度快1200%，但在抛光磨盘上只发觉快了50%。

在含有足量氟化铵(NH₄F)和硝酸铜 · 3 份水的所有溶液中[(f)、(h)和(m)三种溶液除外]，约一分钟之后形成淀积物，约十分钟內沉淀下去。

图 5 画出了利用

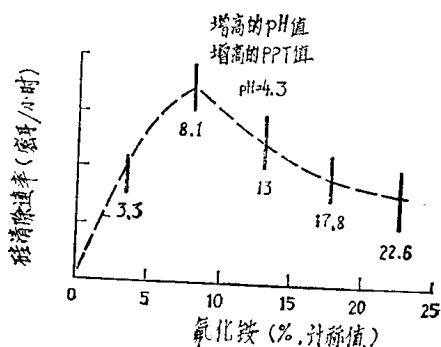


图 5 溶解速度与氟化铵浓度的函数

表 I 中几种混合溶液所进行的台面测试。应注意氟化铵对于反应很重要,但是每 2400 毫升溶液中如果氟化铵的浓度超过 500 毫升的话,就会降低反应速度。除不含氟化铵的溶液之外,其它溶液中都会形成淀积物。

图 6 表示上述结果,须注意,即使硷性铜盐的沉淀与铜的粘附量及氟化铵的含量成正比,较高的铜含量仍能达到较高的清除速度。

化学反应能力

第一组溶液表明,氟化铵的浓度为 8 % 时,清除速度最高。虽然抛光磨盘上的测试表明,在更高的氟化铵浓度下清除速度仅加快 50 %,但台面测试测出的差别为 1200 %。由此可见,铜离子和硅反应的生成物对于清除速度有极大的减速作用。

第二组溶液表明,8 % 浓度的氟化铵溶液似乎总是反应速度最快的溶液。虽然随着铜离子粘附的增加反应速度通常要加快,但如果不考虑存在的铜离子数量,上述结论是正确的。随

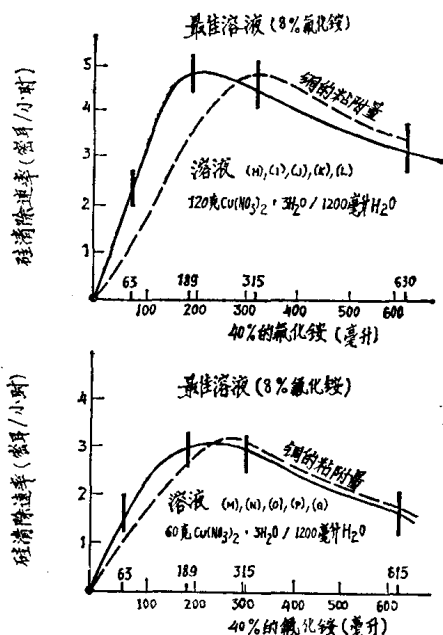


图 6 铜含量不同的几种溶液的清除速度和铜的粘附量,与氟化铵浓度的函数

着铜离子的增加，形成越来越多的氢氧化铜沉淀物。没有氟化铵时溶液的氢离子浓度(pH)是4.0；当氟化铵的含量达到14%时，溶液的pH值逐渐变为5.0。

表面质量

氟化铵含量在4%以上配备而成的各种溶液在10欧姆·厘米的P型硅片上产生大致完善的表面。包括表面蚀刻和X光散射这两种技术的测试表明此类表面是无损伤的。位相对比显微方法揭示了稍呈微粒状的表面，此种表面与损伤蚀刻后的二氧化硅抛光片的表面极其相似。除了普通抛光的硅片上可能会出现表面损伤现象之外，在氧化作用及氧化物剥除以后用普通抛光法所产生的表面和用化学—机械抛光法所产生的表面之间是难以区别的。

图5和图6中反应速度最快的溶液在1欧姆·厘米的n型或p型硅片上以及0.01欧姆·厘米的n型硅片上也都能形成良好的表面。在0.01欧姆·厘米的p型硅片上化学和机械效果相混互扰，由抛光磨盘的机械作用在某种程度上引起的严重凸起可能会出现在某些硅片上。这种凸起是渦卷型的，如果出现在抛光磨盘的外缘就更不好。

铜的粘附性能较之硅的清除速度对于浓厚掺杂的硅片的表面质量之影响要来得大。

加热

既然抛光机理受到化学限定，在抛光周期中的加热效应也就可以预测。在抛光主磨盘下边通入热水的时候，发现温度升高30度（从72°F升至102°F）时抛光速度加快50%。

加酸

把67毫升的浓硝酸加入表I中的最佳溶液，结果每小时的去速达到14密耳。尽管清除速度甚高，但硅片表面仍然粗

糙不平，犹如一种化学抛光的硅片。由于酸的加入，铜淀积物变得很松弛，象煮沸了似的，于是使裸露的新硅层参加反应而不需要机械作用。由此可知，欲获得平滑的表面，硅片上铜的淀积相当重要。

化学—机械方法能够对任何直径的硅片进行抛光而不必改变基本工序和设备，虽然较大的硅片需要用较大的机械。图7是用这种抛光法获得的典型表面。图8是电子显微方法所观察到的化学—机械抛光硅片的典型表面。

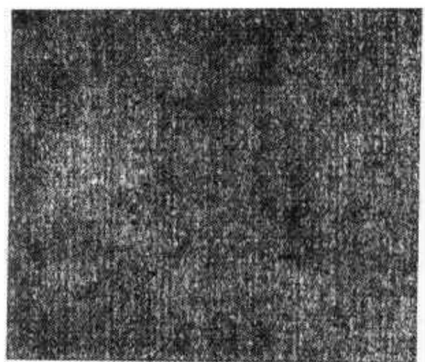


图7 化学—机械抛光硅片纹理度为400X的典型表面

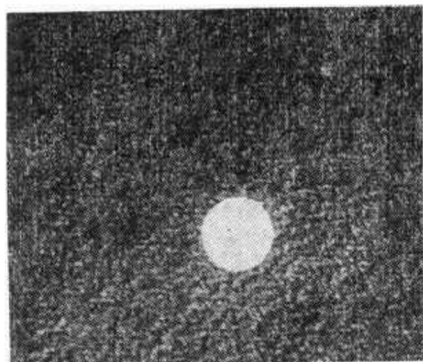


图8 纹理度为54000X的典型表面，白色圆是参考点。

抛光后的工作

抛光之后，硅片显然易于受到残余铜的污染，须采取简便的措施来防止这种情况。经过抛光的硅片在卸下之前应放在稀硝酸中漂洗一段时间。卸下硅片之后最好再用稀硝酸漂洗一次。这样处理过的硅片经中子活化分析，表明含铜量少于10ppb。该数值与化学抛光控制方法所得数值相似，这可能是

受淀积物质的标准含铜量。

结 论

上述技术为硅片抛光提供了一种不需磨料的方法。淀积清除速度比普通的磨料抛光法要快。这种方法始终能保持清洁，因此在抛光后的操作中可保证较高的成品合格率。

(译自 Solid State Technology, Vol. 13, No.1,
Jan.1970, pp.42—46)