

我们是如何制造内存的

想了解内存是如何制造出来的吗？以下是我们的幕后故事，看看我们如何采用严格的内存制造过程以确保您得到的是质量上乘的产品。

第一部分：从硅到晶圆成品

内存芯片是集成电路与各种晶体管、电阻器和电容器的结合，任何一种芯片都离不开以上几种元件。集成电路的原料是硅，通常从砂中提取。将硅转变为内存芯片是一个需要涉及工程、冶金、化学和物理的精密提取过程。

内存通常是在叫做 fab 的大型工厂内生产，其中包含许多洁净室环境。由于电路极小，即便很小的灰尘也可能造成损坏，因此，半导体内存芯片需要在洁净室内进行生产。Micron 美光的博伊西 (Boise) 主厂占地超过 180 万平方英尺，并且拥有 1 到 10 级洁净室。在 1 级洁净室内，每立方英尺空气中所含的灰尘颗粒少于 1 颗。与之相比，一所干净的现代医院内每立方英尺空气中所含灰尘颗粒约为 10000 个。洁净室内的空气需保持过滤和循环。生产小组的成员需穿戴特殊的帽子、隔离服和口罩，以保证空气中不混入灰尘颗粒。

第 1 步：硅铸锭

将硅转为集成电路的第一步是生产纯净的单晶硅棒或硅铸锭，通常直径为 6 至 8 英寸。一旦成型，则将硅铸锭切成纤薄光滑的晶圆片，其直径通常为 6 或 12 英寸，厚度小于 0.025 英寸。随后将芯片的电路元件（晶体管、电阻器和电容器）置于硅晶圆片的分层结构中。构筑电路之前，需先在计算机上对电路进行研发、模拟测试和完善。设计完成后，将制造玻璃光掩模——并为每层电路准备一块光掩模。光掩模是带有小孔或透明体的不透光板，可以让光线以特定形状透过，且这些光掩模在制造过程的下一步——光蚀刻中尤为关键。

第 2 步：光蚀刻

在无菌的洁净室环境中，晶圆片将经过多步光蚀刻程序的处理，电路每需要一块光掩模即重复一次。光掩模可用于 (a) 确定用于构建集成电路的晶体管、电容器、电阻器或连接器的不同部件，及 (b) 定义设备组装的各层电路图案。

生产阶段开始时，裸硅晶圆片由一层薄玻璃覆盖，再加盖一层氮化层。通过将硅晶圆片与氧气在摄氏 900 度的环境下放置一小时或更长时间，形成玻璃层，具体时长取决于所需的玻璃覆盖层厚度。当晶圆片内的硅与氧气接触时将形成玻璃（二氧化硅）。高温下，该化学反应（称为氧化作用）以极快的速度发生。

第 3 步：光刻胶

接下来，晶圆片将被统一覆盖一层具有一定厚度的光敏液体，称为光刻胶。通过将紫外线光源和晶圆片之间的光掩模对齐，选择晶圆片的暴露部分。光线将穿过该光掩模的透明区域，并将光刻胶暴露在光线中。

暴露在紫外线中时，光刻胶将发生化学变化，从而让显影液将曝光的光刻胶去除，并在晶圆片上留下未曝光的部分。电路每多一块光掩模，就需要多重复一次光刻法/光刻胶程序。

第 4 步：蚀刻

蚀刻流程中，将在晶圆片上放置湿酸或干离子气体，以去除不受硬化的光刻胶保护的氮化层部分。该操作将在晶圆片上留下与所设计的光掩模形状一致的氮化图案。使用其他化学剂将硬化的光刻胶去除（清除）后，便可以将数以百计的内存芯片以蚀刻的方式嵌入晶圆片上了。

第二部分：晶圆片成层与完成电路

在制造流程的第 I 部分中，所有电路元件（晶体管、电阻器和电容器）均在首次掩膜操作中完成构建。接下来，通过生成一组分层，将这些元件连接起来。

第 5 步：铝成层

要开始连接电路元件，需先在晶圆片上覆盖一层玻璃绝缘层（被称为 BPSG），并用接触式掩模确定每个电路元件的接触点（或接触窗）。完成接触窗蚀刻后，整个晶圆片将在一个溅射室内镀上一层薄薄的铝。对铝层加盖金属掩模时，将形成一个薄薄的金属连接或线路网络，构成电路的路径。

第 6 步：钝化成层

整个晶圆片随后将覆盖一层玻璃和氮化硅以避免其在组装过程中受损。该保护层被称为钝化层。随后则是最后的掩模和钝化蚀刻程序，从端子（也被称为焊盘）上去除钝化材料。将焊盘用于模具至塑料或陶瓷封装上金属引脚的电气连接，集成电路此时即告完成。

将晶圆片发往模具组装前，必须对晶圆片上的每个集成电路进行测试。识别功能和非功能性芯片，并在计算机数据文件中做出标记。然后用金刚石锯将晶圆片切割成独立的芯片。非功能性芯片将被废弃，其余部分则可用于组装。这些独立芯片被称为晶粒。

对晶粒进行封装前，会将其安装于引线框上，并用薄金线将芯片上的焊盘与该框相连接，从而在晶粒和引线指之间形成电路。

第三部分：晶粒制备与测试

在制造过程的第 II 部分，将构成集成电路并将成品晶圆切割成晶粒。下一步则是准备将晶粒用于成品模块。

第 7 步：封装

封装时，引线框将被放置在模具板上并进行加热。将熔化的塑性材料围绕每个晶粒按压以形成单独的封装包。再将模具打开，压出引线框并进行清洁。

第 8 步：电镀

电镀是当封装的引线框浸没在锡铅溶液中对其进行“充电”时，紧随其后的下一道工序。在此，锡铅离子被吸引至充电的引线框处，形成一层均匀的沉积物，增加晶粒的导电性并生成一个清洁的表面以便安装晶粒。

第 9 步：修整成形

在修整成形过程中，引线框被装入修整成形设备中，使其成形，并让芯片与框架分离。然后将单独的芯片置于防静电管中进行处理，并运送至测试区进行最终测试。

第 10 步：老化测试

在老化测试过程中，每块芯片都将通过测试，检查其在加速应力条件下的运行表现如何。老化测试是检验模块可靠性的一项关键测试。通过在加速应力条件下对模块进行测试，我们可以筛选出

每个批次中未能达到最低使用频率要求的模块。要进行老化测试，我们需要使用行业领先的 AMBYX 烤箱。这是我们的工程师专门为老化测试开发的设备。一旦内存芯片通过了老化测试，则会检查、密封并用于组装。

第 11 步：PCB 组装和构建

内存芯片制作完成后，它们需要通过一个途径与您的计算机主板相连。印刷电路板 (PCB) 便是解决之道，它可将芯片连接至计算机的主板。要完成该操作，芯片将被安装至印刷电路板 (PCB) 上，而最终成品便是完工的内存模块。

PCB 成列或成片制成，包含数个相同的板件。完成组装后，将成列的板件分割成单个模块，这与将巧克力棒掰成更小的巧克力块相类似。根据尺寸将每列 PCB 的总数划分好之后，Micron 美光便可在给定的原材料量基础上最大化模块的生产数量。

第四部分：模块组装

在生产过程的第三部分，晶粒和 PCB 都已准备就绪，随时可完成最终的模块组装。最后的步骤包括模块组装流程。

第 12 步：丝网印刷

完善模块设计并完成 PCB 生产后，即可开始组装内存模块！组装需要使用一项复杂的焊接工艺将内存芯片附着于 PCB 上。首先需要进行丝网印刷。

在丝网印刷过程中，需要使用镂空模板将焊膏筛漏到成品 PCB 上。焊膏是一种较粘稠的物质，用于将芯片固定在 PCB 上。镂空模板的作用是让焊膏仅附着在需要焊接组件（芯片）的位置。由于有基准点，附着点的定位变得轻而易举。基准点是 PCB 上用于确定芯片安放位置的标记。

涂上焊膏后，自动“抓取”组装机将扫描基准点，确定芯片在 PCB 上的安放位置。抓取机器通过程序识别芯片安放位置，当机器从送料处抓起芯片并放置在 PCB 上时，机器可以掌握芯片的准确位置。所有其他芯片和模块上的任何其他组件均通过芯片放置工艺进行安装。在内存制造的所有步骤中，这个步骤是最快的：将芯片放置在成品 PCB 上仅需几秒钟！

第 13 步：焊接和安装

接下来，组装的芯片和板件将通过一个烤箱。热量将使焊膏融化为液体。焊膏冷却后将会凝固，将内存芯片和 PCB 永久地粘合在一起。融化焊膏的表面张力可以防止芯片在此过程中出现位移。

芯片牢固附着后，整列板件将被分割成单个模块。Micron 美光团队成员将目测检查每个模块。许多模块还将经过额外的自动 X 光设备检查，以确保所有接合点都已焊牢。所有 Micron 美光内存模块均符合 IPC-A-610 验收标准——全世界公认的行业标准。

第 14 步：组装后的质量测试

Micron 美光将测试模块并打上标签。我们使用定制设备自动测试其性能和功能。这样做可避免操作员不慎将不合格的模块放入合格品区域。某些模块带有可识别的“狗牌”，以供您的个人电脑识别和读取。

第 15 步：发货

在发往计算机制造商和消费者之前，我们将按一定统计比例对成品模块进行最终抽检。如果模块通过批准可供使用，则将其装入防静电塑料托盘和塑料袋内，以供发货。完成一系列的生产程序后，您的内存便可投入使用。本产品已通过严格测试和审批！