

互联网与薄膜技术

当今信息社会,人们通过电视机、收音机、手机、互联网等,可即时看到或听到世界上所发生的“鲜”、“活”新闻,如同人们长上了千里眼、顺风耳。

之所以能做到这一点,首先需要摄像机、数码相机、录音机、存储装置等采集图像及声音信息,并对其进行编辑加工。更重要的是,需要由微波、光缆、通信卫星、计算机等构成的互联网,并通过天线及光缆等将这些互联网与一般家庭、办公室、车辆等交通工具相连接,构成通信网络(图 1-1)。在上述采集、处理信息及通信网络设备中,都需要数量巨大的元器件、电子回路、集成电路等。而薄膜技术是制作

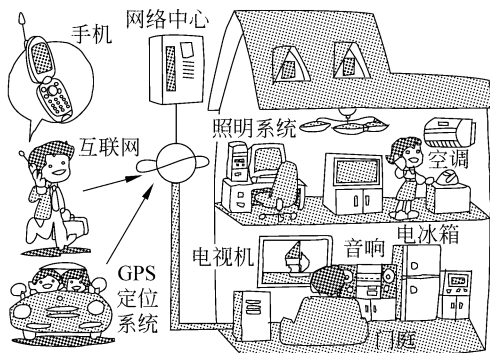


图 1-1 通过互联网可以按计划、远距离、随心所欲地操作自宅家电

这些元器件、电子回路、集成电路的基础。

经过通信网进入家庭、办公室乃至车辆之类交通工具等的信息,再由收音机、电视机、计算机、录放机、传真机、电话机、手机等多媒体终端等传递到用户。所有这些机器的心脏部分,也都离不开以薄膜技术为基础而制作的元器件、电子回路、集成电路等。

此外,现在电视机、空调、电炊具、洗衣机都具有遥控功能,采用笔记本电脑及手机等便携终端设备,从出差或上班地点也能操作上述家电设备,这种系统有些已达到实用化。今后,随着互联网的进展扩充以及数字家电价格的继续下降,这种远距离控制系统会逐渐普及。按计划、远距离、随心所欲地操纵自宅家电已不是遥远的事情。

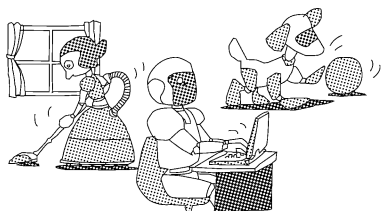


图 1-2 可代替人工作的机器人
将出现在我们面前

如果着眼于未来,那么接近人类步行方式的机器人、能表现感情的机器人也将纷纷登场。不久的将来,随着具有更优秀的控制能力,具有与人类相同五观能力的机器人开发成功,它们可以从事家务及车间劳动,从而大大减轻人类的负担。届时,可代替人工作的机器人将出现在我们面前(图 1-2)。

为实现这些梦想,薄膜也起着举足轻重的作用。

PDP——等离子壁挂电视

人们天生喜爱图像。通过作为人一机界面的显示器,人们可以获得信息,交流情报,参与社会,享受生活乐趣。在信息社会飞速发展的今天,显示器行业充满活力,并已成为世界电子信息工业的一大支柱产业。

21 世纪进入了以等离子体平板显示器(plasma display panel,PDP)、液晶显示器(liquid crystal display,LCD)为代表的平板显示器(flat panel display,FPD)时代。画面对角线超过 1m(到 2005 年已有超过 2.5m 的产品),厚度仅有几厘米,图像清晰、逼真的壁挂式 PDP(图 1-3)已在机场、车站、会议室乃至家庭中广泛采用。目前,可折叠卷曲的显示器正在研究中,而且人们欣赏立体画面的时代已为期不远。与此同时,发光二极管显示器(light emitting diode,LED)、有机电致发光显示器(organic

electroluminescent display, OELD, 又称有机 EL^①)等也在急速发展之中。

21 世纪将是平板显示器的春天, 在电子显示器的百花园里, 各种类型的平板显示器将大放异彩。要进行形象逼真的动态显示, 都需要数以百万计的显示单元——像素; 要制作这些像素并实现每个像素的开断, 需要采用厚度在数微米以下的金属电极、透明电极、半导体膜及绝缘膜等。而这些都离不开薄膜技术和超微细加工技术。

读者在体育场、繁华街道也许都见过数十米宽的巨大显示屏。过去, 这类显示屏一般是以 1~2cm 见方的小型布劳恩管或放电管构成一个个的像素, 总计要用近百万个, 通过画面组合, 实现动态图像显示, 但其重量要达数吨以上。目前这种巨型显示屏多由一个个发光二极管(LED)组合而成。但上述这些显示屏的图像分辨率不高, 难以精细显示。今后, PDP 和 LCD 也有可能在该领域大显身手。

图 1-4 表示 PDP 断面结构的实例。这种显示器的工作原理如下。通过显示电极(汇流电极)和选址电极(数据电极)上施加的电压(脉冲形电压), 在二者交点处引起气体放电; 通过控制放电位置和放电的强弱, 实现丰富多彩的动态显示。由上述气体放电产生的等离子体中射出紫外线, 该紫外线照射涂敷于放电胞壁的荧光层(发射 R(红)、G(绿)、B(蓝)三原色光的荧光层), 发出相应彩色的光, 由此实现全色壁挂电视。

实际上, 室内照明用的日光灯也利用了气体放电的原理, 只是其玻璃管内壁上涂布的是发白光的荧光体, 在放电等离子体产生的紫外线刺激下发白光而已。

制作 PDP 的关键是在对角线 1m 以上大尺寸玻璃板表面形成数以百万计的放电胞。放电胞的节距一般为 200~400 μm , 胞间障壁宽度为 50 μm , 高 150 μm 。汇流电极由透明导电膜作成, 选址电极由 Cr-Cu-Cr, Cr-Al, Ag 膜作成。为保证电极寿命, 需要在前玻璃基板表面涂敷 MgO 保护膜。要制作这些电极及各种膜层, 显然离不开薄膜技术及微细加工技术。



图 1-3 画面对角线 106cm(42 型)的
等离子壁挂彩电
(2005 年已有 102 型产品问世)

① 有机 EL(electroluminescence), 即有机电致发光, 指电流通过有机材料而产生发光的现象(或技术)。EL 是 electroluminescence 的缩写, 注意, 它不同于 electro luminescence(场致发光)。有机电致发光显示器(OELD)是一种低场电致发光器件, 器件中具有 pn 结结构, 其工作模式与无机 LED(light emitting diode, 发光二极管, 发光二极管平板显示器)相似, 属于电流器件, 为注入型 EL。欧美学者多称其为 OLED, 而日本学者多称其为有机 EL, 可能是由于双方的侧重点不同。

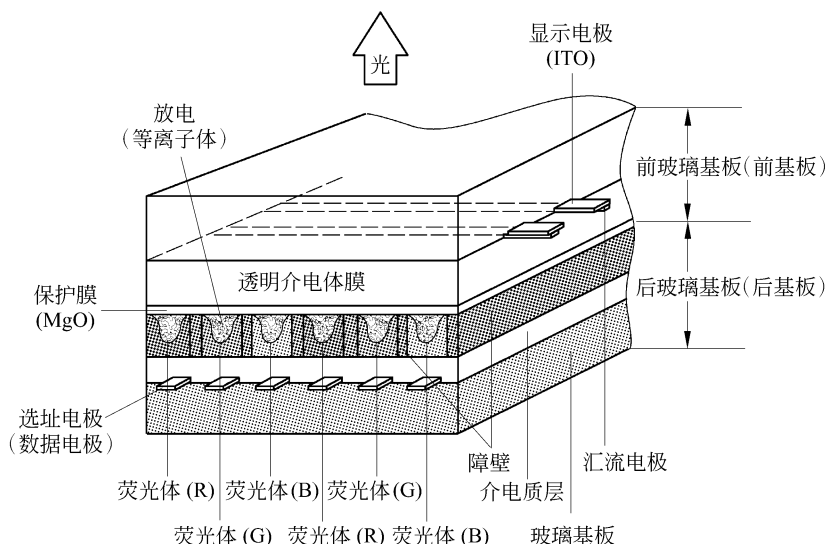


图 1-4 PDP 断面结构的实例

（等离子显示屏，各示出 RGB 两个像素，实际产品中有数十万至数百万个像素）

发展迅猛的 TFT-LCD

一般认为，PDP 在大屏幕彩电领域没有竞争对手。正当 PDP 天马行空、独往独来，准备在大屏幕彩电领域大显身手时，近一两年却突然杀出大屏幕 TFT-LCD 彩电。先是夏普推出 37 型液晶彩电，索尼在 30 以上型奋起直追。正当夏普发表“50 型液晶彩电也能制造”时^①，LG 在 2004 年推出 57 型，韩国三星却在 2005 年 10 月展出 82 型液晶彩电试制品。目前大屏幕 TFT-LCD 显示器发展迅猛，预计从现在起 30 型以上液晶彩电的年平均增长率将超过 200%。韩国三星和 LG 公司的第八代生产线（2300mm×2600mm）将于 2007 年第 3 季度运行。

我们对液晶显示器并不陌生，计算机显示屏、数字式手表等早已成功应用。TFT-LCD (thin film transistor liquid crystal display) 即薄膜三极管液晶显示器。所谓液晶是指在某一温度范围内，从外观看属于具有流动性的液体，但同时又是具有光学双折射性的晶体。液晶的流动性和各向异性正好为图像显示所利用。

在液晶显示装置中，需要组合利用两块偏光板。如图 1-5(a) 所示，偏光板具有

① 2004 年 10 月，夏普公司在日本横滨举行的展览会上，展出 65 型制品。

仅使沿光的透过轴(偏光轴)方向振动的光透过,而阻断沿其他方向振动的光透过的功能。因此,若布置两块偏光板,使其偏光轴垂直,则光不能透过两块偏光板。在液晶显示器中,如图 1-5(b)所示,液晶灌入如上布置的两块偏光板之间的空间中。液晶分子依靠与其接触的取向膜(见后面的图 1-7)呈定向排列。取向膜一般由聚酰亚胺制作,在其表面通过定向摩擦等形成纵向划伤,液晶分子趋向平行于此划伤定向排列。若使两块这样的取向膜正交布置,如图 1-5(b)中心部位棒状液晶分子排列的那样,液晶分子取向逐渐发生 90° 旋转。如图 1-5(a)所示,通过第一块偏光板的偏光,在沿液晶分子传输的过程中,其偏光轴会发生 90° 的旋转,所以该偏光也能通过第二块偏光板。

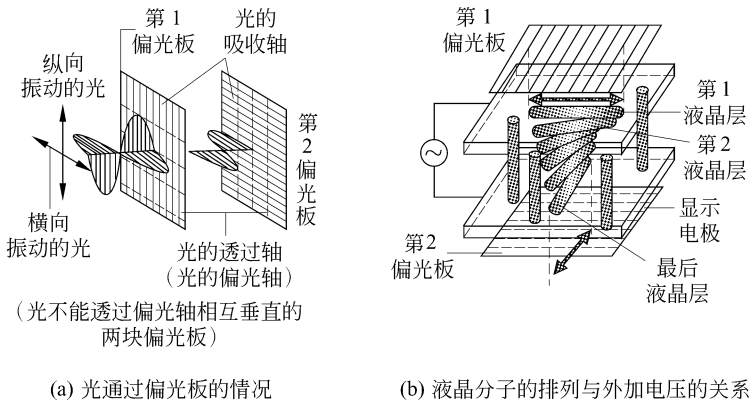


图 1-5 液晶显示器的工作原理

那么,当在电极上外加电压,情况又将如何呢? 如图 1-5(b)四周的四根垂直棒所示意,液晶分子呈垂直排列。在这种情况下,由于光的透射轴不发生旋转,因此光不能透过。换句话说,通过外加电压的有和无,就可以实现光的透过与截止,即由电开关实现光开关。

上述外加电压的控制,是通过图 1-6(a)所示的薄膜三极管(thin film transistor, TFT)完成的。图 1-6(b)表示与液晶分子运动相关的 4 个像素的实例。

图 1-6(a)所示一个像素的大小大致在数十微米,薄膜三极管的特征尺寸一般为 $3\sim5\mu\text{m}$ 。制作薄膜三极管需要在玻璃基板上形成非晶硅或多晶硅半导体膜,还要形成源极、栅极、漏极,每个像素都要有共用电极和显示电极(ITO 膜)。此外还需要产生 RGB 三原色的滤色膜等。所有这些都离不开薄膜技术和微细加工技术。

图 1-7 表示实用化液晶显示装置的实例。偏光板、取向膜及电极等都要做在上、下两块玻璃板上。两块玻璃板由塑料或玻璃微球(或棒)隔离子隔开,隔离子的

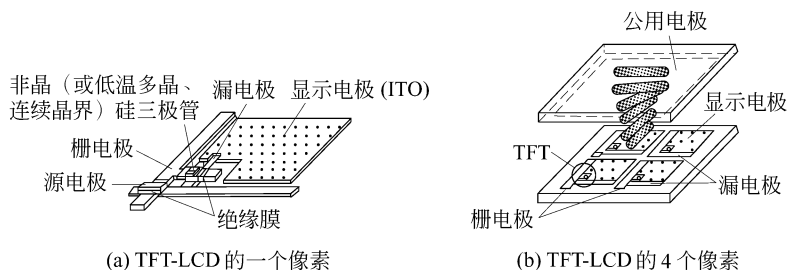


图 1-6 薄膜三极管(TFT)与显示像素

尺寸决定两块玻璃板的间隙。由背光源发出的光经导光板遍布整个显示装置,最后由图 1-7 中所示的正面射出。这种光在液晶开关的控制下,通过滤色膜可显示出全色动态画面。

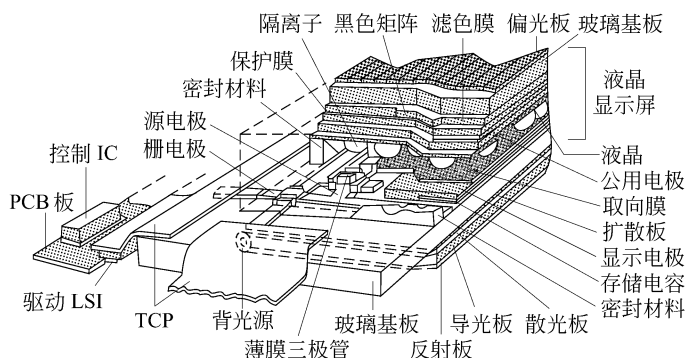


图 1-7 TFT-LCD 制成品中的一个显示像素

(每一个显示器中有数万至数百万个像素)

近年来,TFT-LCD 在提高辉度、增大视角、提高图像分辨率、响应速度及增大画面尺寸等方面都获得突破。作为平板显示器的代表,液晶显示器在便携类产品(包括手机、数码相机等),笔记本电脑、监视器、家用电视及超大屏幕显示器等领域的应用正迅猛扩展。

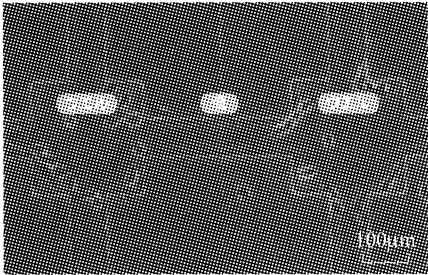
生物计算机与薄膜技术

科学技术的前沿课题之一,是制作与人类大脑相近的记忆(存储)系统,实现人工智能。

关于记忆,已由硅半导体等构成的存储器来实现。但到目前为止,还未达到具有创造能力和人工智能的水平。目前,科学工作者正通过小鼠及兔子的小脑等神经细胞的培养,以实现神经网络功能。进行这项研究,离不开薄膜技术。

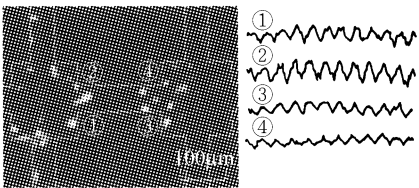
如图 1-8(a)所示,先利用薄膜技术在石英板上制作 $150\mu\text{m}$ 见方的阱(well)以及连接阱的 $10\mu\text{m}$ 深的沟槽,再在阱中放置大白鼠脑的海马神经细胞。图中表示经过 7 天培养后,这些神经细胞的生长情况。可以看出,若在平面上(阱中)培养,神经纤维(synapse,突触,神经腱)会向四面八方伸出,而在设有沟槽的位置,神经纤维会在沟槽中生长。这样,随着神经纤维沿沟槽生长,神经细胞与神经细胞之间实现接触、连接,进而形成回路网络。

在表面形成阱及连接阱的沟槽的基板上,通过掩模在阱中放置细胞。经过 7 天培养,由这些细胞生长出简单的神经回路



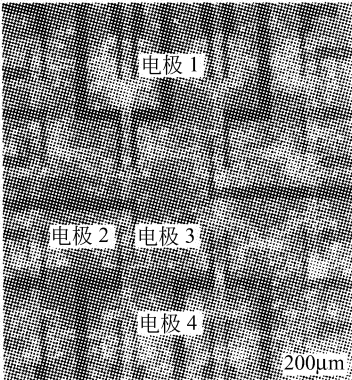
(a) 通过人工培养,由大白鼠脑的海马神经细胞,生长出简单的神经回路

细胞 1、2、3、4 内的钙离子浓度(如右边的图所示),以大约 10s 为周期同步振动。表明这些细胞间通过神经纤维传递信息



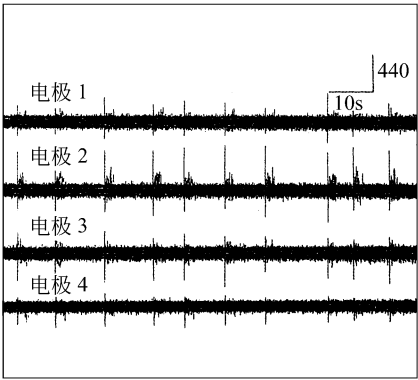
(b) 在简单神经回路中的细胞中,由荧光显微镜观察到钙离子浓度的变化

照片中黑点部位为神经细胞。大部分电极上大概有 10 个左右的神经细胞



(c) 在带有微小电极阵列的基板上培养的大白鼠大脑皮质神经元(neurone)的显微镜照片

由图(c)所示的培养神经细胞的基板上的 8 个不同位置的电极上接收到的短脉冲群状信号。图中的信号是由图(c)所示电极 1、2、3、4 记录的信号。各电极的信号都以 10s 为周期,彼此同步



(d) 由微小电极阵列记录的电气信号

图 1-8 利用薄膜技术进行生物计算机研究

这些神经是否具有生命活动呢？为了回答这一问题，用荧光显微镜对细胞内的钙离子浓度进行了观察(图 1-8(b))。发现细胞中标有①～④位置的亮度，大致以 10s 左右为周期，发生周期性变化，这说明细胞是有生命活动的。

上述明暗的变化是通过电气信号实现的。如图 1-8(c)所示，阱中仅神经细胞的尖端露出，通过设置由氧化铝或聚酰亚胺等绝缘膜覆盖的电极，可将其产生的电气信号取出。探测结果如图 1-8(d)所示， $\frac{40}{100 \times 10^4} \text{ V} (= 40 \mu\text{V})$ 的极微小电气信号，大约以 10s 为周期，以 10^{-3} s 的时间延迟进行传输。这说明细胞与细胞之间确实构成了回路网络。相反，若在电极①上输入 1mA 的电流脉冲，其他电极上的脉冲也会同步出现。

随着这种生物计算机技术研究的进展，实现相当高度的智能化已不是梦想。

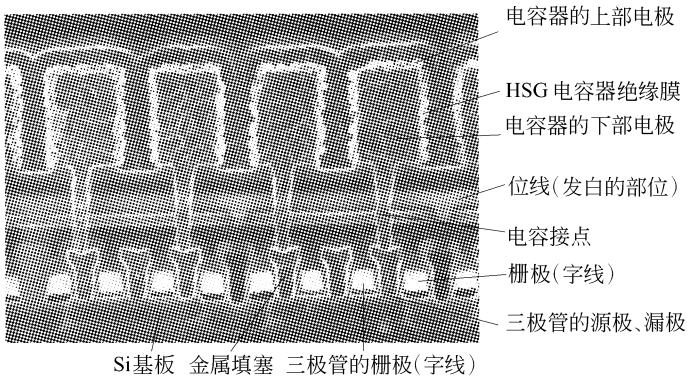
正在进展中的人造大脑

人的脑细胞大约有 150 亿个，而其中的 10%，即 10 亿～15 亿个脑细胞时常工作的人，据说属于天才之列。一个三极管是否与一个脑细胞起相同的作用，目前尚无定论。但是，就目前的水平而言，在集成电路中， 1 cm^2 的硅片之上已经成功地制作出 2.5 亿个三极管，并已实现制品化。10 亿个三极管的试制品也已经出现(图 1-9(a))。10 亿个三极管的集成电路，可以存储 4000 张报纸的信息。进一步，存储容量为 16 倍，即 160 亿个的集成电路也在人们的计划中，估计到 2010 年即可实现(图 1-9(b))。

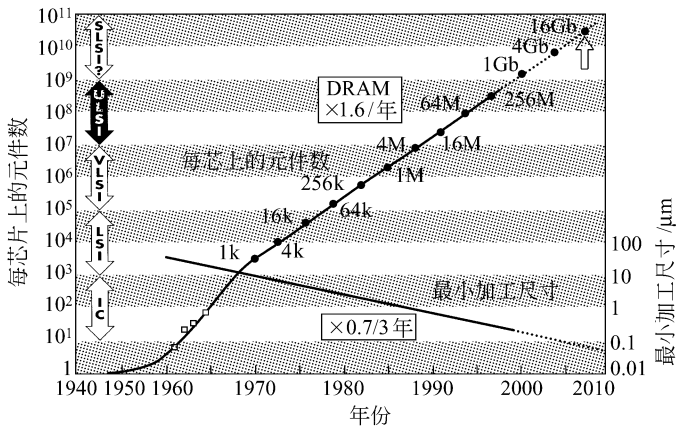
如果将这样的集成电路放入人的大脑那样大小的容器中(大约 1L)，其可收容而且能工作的三极管的数量与人的脑细胞相比，已达到仅有一个数量级的差别。

在记忆、计算速度和容量等方面，人还比不上计算机。近年来机器人进展很快，不仅能两条腿走路，而且能表现出感情，其智力达到 1 岁儿童的水平，越来越接近人的程度。原来机器人所不具有的创造能力也正在逐步攻克中。看来，制成各种各样形式的人造大脑已不是遥远的事情。

如同图 1-9(b)所表示的那样，目前正试制容量为 4Gb 的集成电路(实际上，韩国 LG 公司于 2004 年已将 16Gb 集成电路推向市场)。这需要在大约 1.5 cm 见方的芯片上，制作 40 亿个三极管及其他元件，决定其最小加工尺寸的三极管栅长为 $0.1 \mu\text{m}$ 。若将其扩大 1 万倍，相当于在 150 m 见方，即足球场那么大的广场上，布置 40 亿个 1 mm 见方的三极管，且其定位精度要保证在 0.3 mm 以下，可以想象难度有多大。然而，采用薄膜技术就能胜任。



(a) 1Gb-DRAM 中三极管及存储电容器部位的断面放大图



(b) 每芯片上元件的对数增加及最小加工尺寸随年代的变化

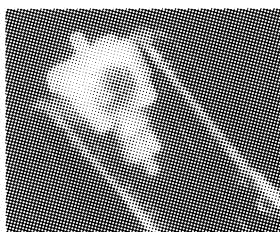
图 1-9 正在进展中的人造大脑

微机械使重症患者起死回生

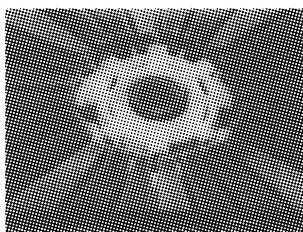
薄膜技术能实现材料的微米($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}=10^{-3}\text{mm}$)、纳米($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}=10^{-6}\text{mm}=10^{-3}\mu\text{m}$)超微细加工,由此实现的微机械具有无限的应用前景。

目前已实用化的马达,最小尺寸的已成功实用于手表等机构中。图 1-10(a)所示为直径 1mm,长 2mm,比镊子端头还要小的微型马达,其中还刻有表盘等。

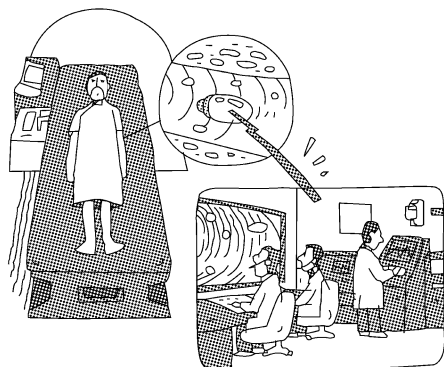
如果利用薄膜技术,可以制作更小型马达,图 1-10(b)是其一例。图中所示是中心转子直径为 $\frac{5}{100}\text{mm}(50\mu\text{m})$,整体为 0.1mm 见方的超微型马达。随着技术的进一步发展,不久会制作出以微米为单位的马达。



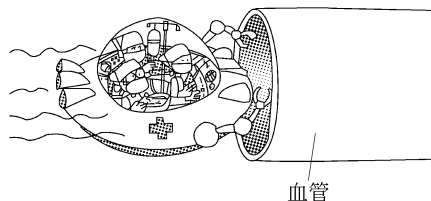
(a) 用镊子夹住的手表用微型马达



(b) 超微型马达的实例



(c) 微机械有可能挽救重症患者的生命



(d) 可进入血管的微机器人

图 1-10 薄膜技术与微机械

目前人们正在研究开发中的,是在这种超微型马达中加上各种各样的执行机构,传感器,流量计,泵, x 、 y 、 z 三维方向的微动系统,计测器等,由多种部件构成极小型的微电子机械系统(microelectronics mechanical system, MEMS)。

随着这种技术的进展,可以开创各种各样的应用领域。

图 1-10(c)、(d)表示微机械应用的一例。利用薄膜技术等制作出各种各样的超小型手术微机械,将其置于微密封舱(capsule)中。将该微密封舱送入人的血管及内脏中,靠外部监控导入患部,完成手术并返回。在微密封舱中,装有与外部通信联络,相当于人的眼睛和耳朵的传感器等。当然还装有十分完善的手术系统。这为完成动脉硬化,脑血栓等手术开辟了光明的前景。将来,说不定这种微机械会挽救重症患者的生命。

由于微机械应用广泛,故对其研究开发正加紧进行中。

加速度传感器

加速度(力)的检测极为重要,其应用也非常广泛。例如,汽车防撞系统的气囊,在发生事故前充气膨胀,从而避免人员伤亡。气囊即时充气膨胀,就是靠检测