

《国外机械工业基本情况》参考资料

仪 器 仪 表 元 件

沈阳仪器仪表工艺研究所 编

第一机械工业部技术情报所

一九七九年

前 言

仪器仪表中具有独立功能的基础零、部件通常被称为仪器仪表元器件（简称元件）。

仪器仪表元件在仪器仪表中占有关键地位、起着关键作用，它能完成信号的检测、传递、转换、放大、存贮、运算、控制和显示等功能。它的质量直接影响仪器仪表的质量的提高和品种的发展，因此，仪器仪表元件是发展仪器仪表的基础。

随着科学技术的发展，元件的品种日新月异，应用日益广泛，涉及的理论、材料、制造技术和测试手段的范围也越来越广。可以说，今天的仪器仪表元件领域，已成为一门由各种新技术组成的综合性科学技术。

我们根据一机系统的产品情况，对工业自动化仪表、电子计算机、成分分析仪器、电工仪器仪表、光学仪器、电影机械、照相机械、材料试验机、实验室仪器等所采用的元件进行了分析，把元件大致分成十大类：

1. 半导体元器件：如晶体管、集成电路、整流元件等。
 2. 电真空元器件：如电子管、光电倍增管、X射线管、字符显示管等。
 3. 传感元器件：如热敏元件、光敏元件、压敏元件、磁敏元件及各种一体化器件等。
 4. 电器元件：如变压器、振动变流器、仪表电机、继电器等。
 5. 阻容元件：如电阻器、电容器等。
 6. 接插元件：如插头、插座、开关、指示灯等。
 7. 弹性元件：如波纹管、膜片膜盒、弹簧管、游丝等。
 8. 机械元件：如轴尖轴座、宝石轴承、小模数齿轮、压力表机芯、机械计数器、金刚石压头等。
 9. 光学元件：如光栅、光学薄膜元件、集成光路、光学零件等。
 10. 其他元器件：如激光器件、液动气动元件、热电偶保护套管等。
- 本册资料主要介绍若干种典型仪表元件的国外基本情况，内容包括集成电路、半导体传感元件、弹性元件、光学元件、激光器件及其它元器件，如接插件，宝石轴承等。

目 录

前言	
第一章 国外仪器仪表元件发展概况	
一、发展简史	 1
二、生产和研究方面的特点	 3
三、现状	 5
四、展望	 11
第一章的主要参考资料	 14
第二章 几种典型元件的基本情况	
一、集成电路	 16
1. 概述	 16
2. 发展简史	 16
3. 现状	 17
4. 集成电路在仪器仪表中的应用	 54
5. 展望	 58
6. 典型生产厂介绍	 60
集成电路部分的主要参考资料	 67
二、半导体传感元件	 69
1. 概述	 69
2. 几种代表性半导体传感元件的概况	 70
I. 热敏电阻	 71
II. 应变元件	 78
III. 光电元件	 87
IV. 霍尔元件	 99
3. 半导体传感元件的发展趋势	 105
4. 典型生产厂介绍	 108
半导体传感元件部分的主要参考资料	 112
三、弹性元件	 113
1. 概述	 113
2. 几种弹性元件的概况	 114
I. 金属波纹管	 114
II. 膜片膜盒	 129
III. 弹簧管	 135
弹性元件部分的主要参考资料	 139
四、光学元件	 140
1. 概述	 140
2. 几种光学元件及另件概况	 140

I. 光学另件·····	140
II. 物理光栅·····	171
III. 计量光栅·····	179
IV. 光学薄膜元件·····	182
V. 其它新颖光学元件·····	193
光学元件部分的参考资料·····	196
五、激光器件·····	198
1. 概述·····	198
2. 几种激光器件的概况·····	200
I. 气体激光器·····	200
II. 固体激光器·····	227
激光器件部分的参考资料·····	235
六、其它元器件·····	236
1. 接插元件·····	236
(1) 概述·····	236
(2) 发展简史·····	237
(3) 现状·····	237
(4) 应用·····	248
(5) 发展趋势·····	248
(6) 典型生产厂介绍·····	250
接插元件部分的主要参考资料·····	251
2. 宝石轴承·····	251
(1) 概述·····	251
(2) 发展简史·····	252
(3) 宝石轴承工业现状·····	252
(4) 宝石和宝石轴承的应用·····	256
(5) 宝石轴承发展动向·····	256
(6) 宝石轴承典型生产厂介绍·····	257
宝石轴承部分的主要参考资料·····	260

第一章 国外仪器仪表元件 发展概况

一、发展简史

仪器仪表的发展简史，大致可分为三个阶段：

1. 第二次世界大战以前

早在三百年前，世界上就出现了光学仪器。1800年前后，有的国家已在高炉上使用了风量计和风压计。1840年德国制成第一台金属机身照相机。十九世纪中期在一些工业发达的国家中已建立了一些仪器仪表生产厂，例如：德国耶拿·蔡司厂建于1846年；西门子公司建于1847年；英国柯克光学公司建于1855年；日本岛津制作所建于1875年；美国的柯达公司建于1884年。到二十世纪初，一些资本主义国家均已形成了仪器仪表生产体系。仪表元件的生产和研制就是在仪器仪表工业的建立和发展中形成的。1704年，瑞士有人根据机械钟的需要首先制成了钟表宝石轴承。1785年美国天文学家李敦豪斯制成了半英寸53条刻线的衍射光栅。1849年法国波登发明了用于压力表的波登管，到1870年出现了波纹管 and 膜片膜盒。在这期间也开始建立了一些机械元件产品的专业生产厂，如瑞士1880年建立了曼罗兹（Meroz）钟表宝石轴承加工厂，1902年建立了赛通（Synton）工业宝石加工厂。1904年发明了电子管，接着各种电气元件相继涌现。总之，在第二次世界大战前，美、英、德、日、苏联等国均已形成了仪器仪表生产体系，元件生产已有了一定的规模，元件的研究工作逐步受到了重视。当时生产的仪器仪表基本上是以机械式为主，气动式结构成为当时的革新中心。因此，仪器仪表用机械元件、弹性元件、气动元件得到了广泛的应用和发展，生产已趋向于专业化集中生产。一些电子及电气元件虽已发明和使用，但是由于工作性能和可靠性存在问题，成本较高，因此没有普遍应用。在光学元件方面，主要还是限于各种光学零件、镜片的生产，同时已能刻制刻划宽度不大于8英寸、分辨率不大于40万的光栅。光学纤维和光学薄膜元件也已出现，但是由于技术上的限制，进展不大，没有得到大量应用和推广。

2. 第二次世界大战至五十年代

在第二次世界大战中，由于战争使英、德、日、苏等国受到了较大的损失，因此在五十年代前基本是恢复阶段。五十年代期间，电子技术的发展给仪器仪表以很大的推动力。1949年至1957年是电子管蓬勃发展时期，这期间由于电子管可靠性的提高，使电子仪表发挥了快速、灵敏、可远传等优点，促进了在工业中的应用。1948年美国贝尔电话实验室巴登等人开始研究半导体，1951年西方电气公司首先制成商用晶体管，尤其是1955年以后，电子元件价格的下降和可靠性的提高，使半导体元件逐步在仪器仪表中得到了应用。从1958年起，国外的电子仪表基本都采用了晶体管，进入了半导体时代。这种形势，促使电子式仪表在工业生产中应用的比例逐年增长。在机械元件、弹性元件、气动元件等方面，此期间已普遍实现了专业化集中生产，生产设备和典型工艺得到了发展，使元件的产量提高、质量稳定、品种增加。标准化、系列化工作受到了重视，为这类元件五十年代以后的发展奠定了基础。光学元

件在这期间有了较大的发展，光学零件加工开始采用了高效设备，金刚石工具的应用导致了光学加工的革新。1947年开始采用了光波干涉法控制光栅刻划机，提高了衍射光栅的刻划精度和扩大了刻划面积。由于采用了电子细分技术，计量光栅在五十年代也得到了应用。光学薄膜元件也有了一定的进展。

3. 六十年代至七十年代

六十年代以来科学技术发展十分迅速，国外有人统计和推测，认为在最近十年内，科学技术的创造与发展比以往两千年的总和还要多。国外有人称今日的世界为“科学时代”、“技术时代”、“宇宙空间时代”、“计算机时代”。在这期间，仪器仪表已成为科学研究、工农业生产现代化的重要工具，因而对仪表元件的研究和生产更为重视。仪器仪表元件的发展是和各种新技术息息相关的。六十年代初期，在电子仪表全面实现晶体管化的同时，出现了集成电路。1965年起集成电路发展很快，一些生产厂已制成了采用集成电路的第三代电子计算机，如IBM公司的360系统、RCA公司的Spectra70系列等。1967年开始出现了大规模集成电路，目前大规模集成电路已达到成熟阶段，在一个硅片上已可做成3万2千个元件。线性集成电路也趋向于大规模化，已制成12位数——模、模——数转换器。集成电路的发展，促进了它在仪器仪表中的应用，从而大大改善了仪器仪表的性能、提高了可靠性、增加了功能、缩小了体积。集成电路的大量采用使仪器仪表又产生新的重大变革，这种变革也影响着其它元件的发展。随着半导体电子技术的发展，半导体传感元件以一种新姿态发挥着它的作用，在短短的二十几年中，已形成了八大类几百个品种，最近又出现了与集成电路相结合的一体化元件和多功能元件，半导体传感元件的进展已引起了广泛的重视。但是集成电路的大量应用，并不会使电子分立元件淘汰。分立元件和集成电路将是取长补短、相互促进和长期共存。目前晶体管的发展重点是高频率和大功率。在此期间，其他各种电子电气元件也根据集成化的需要，向高性能、高可靠性和小型化方向发展，而且进入了成系列的大批量生产。

在机械元件和弹性元件等方面，六十年代前已基本实现了专业化集中生产。六十年代以来技术上基本处于相对稳定阶段。虽然发展速度不及电子电气元件，但由于这类元件具有结构简单，性能可靠，使用方便，价格低廉等特点，所以，至今仍是仪器仪表中不可缺少的元件。随着新技术、新工艺、新材料的采用，机械元件和弹性元件仍有着广阔的前途。在气动和液动元件方面，由于六十年代出现了射流元件、可动部件等新型元件，为这类元件的发展开辟了新的途径。

光学元件方面，六十年代以来，取得了重大进展。光学零件加工在大量生产的条件下，已实现了单机自动化和自动生产线。但是，对于高精度光学零件的加工，一般仍然要凭经验和技巧。由于激光技术的发展，推动了光栅、光学薄膜元件、集成光路等光学元件的发展。目前，光栅刻划和复制技术已成熟，全息光栅已实际使用。计量光栅已大量生产和应用，对实现仪器的数字化发挥了重要作用。光学纤维由于光损耗问题的突破，不仅为仪器仪表提供了传光束和传象束，而且为光通讯开辟了道路。光学薄膜元件也获得了重大发展，目前从远紫外到远红外范围的光学薄膜已能成批生产，产品已趋向于标准化。集成光路是在集成电路发展的启发下制成的一种新型高密度光学器件，虽然目前尚未得到广泛的实际应用，但是，今后它将成为计算机和通讯方面划时代的革新手段。

从发展简史中可以看到，六十年代以来的第三阶段，仪器仪表元件发展最快，成果最多，影响最大。尤其是元件集成化的发展，对整个仪器仪表工业产生了巨大的影响。

二、生产和研究方面的特点

仪器仪表元件具有品种多，通用性强，应用面广等特点，它的生产和研究工作往往附属各行业，如军事、宇航、电子、精密机械、光学、仪器仪表等。因此，在国外没有一个独立完整的元件行业。这里我们对国外仪表元件总的生产和研究情况进行分析，其特点主要有下列几方面：

1. 生产历史长，有较好的基础技术

国外仪表元件的生产具有悠久的历史，它与仪器仪表同期出现，达到成批生产也已有一百多年历史了。一般说来，元件技术水平较高的国家，有关的理论、工艺、材料等基础技术也较好。以美国为例，由于基础技术好，元件的生产和研究工作基本都居世界领先地位。又如英国、西德、日本、苏联、瑞士等国由于基础技术较好，元件的发展也较快。

2. 实现了专业化集中生产

元件的生产特点是批量大，工艺要求特殊，加工设备专用性强等，因此实现专业化集中生产不仅具有降低成本等经济意义，而且便于掌握技术，提高质量，发展新品种。目前，元件的专业化生产已成为十分重要的生产形式。但是，随着集成技术的发展，元件在整机中的地位越来越重要，往往在设计新型仪器仪表时，要统盘考虑新元件的设计。一些整机厂为了保证产品质量，对于一些关键或特殊的元件又倾向于自己制造。目前元件生产的专业化有多种形式，主要有以下几种：

(1) 专业化的元件生产车间

主要为本厂主机产品服务，如英国的 CEL 公司有专门制造应变片的无尘车间，荷兰 Barrton 仪表厂设有记录笔尖生产车间，日本鹭宫制作所设有金属波纹管车间等等。此外，光学仪器行业的各种光学元件，大多是由光学仪器厂本身的光学车间生产的。

(2) 元件协作厂

许多大型仪表公司一般设有专业的元件协作厂，称为“姐妹厂”或“子厂”。元件产品主要供本公司使用，也有一部份供外。这类厂一般规模较大，实力较强，体现了集中和垄断的特点。如美国国际商业机器公司，它是生产计算机的最大公司，它设有生产集成电路和其他计算机元器件的分厂。日本横河电机制作所拥有生产各种配套元件和附件的专业分厂十多家。

(3) 专业化元件生产厂

这类厂是独立存在的，产品面向多个行业，有的还远销国外，如西德 IWK 金属波纹管厂，法国 FRB 接插件公司、美国的 AEI 微型电机厂等均属这种类型。

(4) 与仪器仪表行业有关的电子、电气元件专业厂

这类元件厂有的产品主要供给军工，有的供给民用各部门，而提供给仪器仪表使用的仅是一部份。这类厂一般专业化程度较高，工艺较先进，产品质量较高。如美国的仙童半导体公司、莫托洛拉半导体公司等。

3. 元件生产厂的规模向两极发展

各国元件厂以中小企业占绝大多数，大企业占极少数。中小企业大多生产通用元器件，大企业则主要生产高性能或专用元件，而且为数极少的大厂的产值在该国元器件产值中占很

大比重，垄断程度较高。以日本为例，全国共有30人以上的电子元器件厂5200多家，其中大企业90家，却占日本电子元器件总产值的44%。美国有与工业自动化仪表配套的元件专业厂2000多家，据说大多是100人以下的小厂。

4. 专业方向稳定，品种多，生产率高

国外各元件厂专业方向比较稳定，有的几十年不变，因此具有丰富的生产经验。各厂重视产品的发展。如美国 Kinemotive 公司能生产2000多种不同品种规格的金属波纹管。英国 Evorshed 公司的微电机专业车间，能生产5000多种微电机。

一些专业厂生产效率高，产量大。例如：瑞士 Seitz 宝石轴承厂，职工300人，年产宝石轴承5000万粒，同时还承担宝石烧结和钟表部件的生产。日本大泉制作所，职工400人，月产仪器仪表用热敏电阻500万个，碳化硅非线性电阻300万个，扩散硅电阻150万个，还兼产别的元器件。日本日立武芷工厂，职工2000人，年产集成电路1亿2千多万块。

5. 重视技术引进和技术输出工作

各国元件生产和研究情况发展是不平衡的。一些资本主义国家为了获取利润和技术垄断，十分重视技术引进和技术输出工作。在技术引进方面，日本是个典型，许多元件都是依靠技术引进而发展起来的。如日本1959年从美国RCA公司引进硫化镉和硒化镉光敏电阻制造技术，经几年的努力，发展很快，目前已有光敏电阻的主要生产厂6家，仅毛利利卡一厂，月产达100万个，性能稳定，而且品种有了新的发展。技术输出在国外很流行，除厂际协作，出售制造技术外，还流行在别国投资建立分公司，如美国莫托洛拉公司、德克萨斯仪器公司等大企业在别国均拥有许多制造电子元器件的分公司。

6. 重视元件的可靠性工作

可靠性是衡量元件在规定的条件下和规定时间内，完成规定功能的一个重要指标。随着集成技术的发展，元件的可靠性受到了广泛的重视。目前，可靠性一般是用失效率、可靠度或寿命等指标来表示。许多国家成立了电子元器件可靠性收集和交换中心，如瑞典的军用电子实验室已成为国际性的数据交换中心。美国现拥有23个专门从事可靠性数据的收集单位。美国 IEEE 电子器件专业组和可靠性专业组，从六十年代开始主办了可靠性年会。由于重视了这方面的工作，近年来电子电气元件的可靠性均有明显的提高。

7. 重视元件的“三化”工作

元件的标准化、系列化、通用化，有利于压缩元件的基本品种，集小批为大批，是专业化生产的基础。国外元件生产厂一般均有完整的厂标，提供用户选用，即使是象微处理器那样的新元件，各厂也都有完整的标准和系列。许多量大面广的元件，如宝石轴承、仪表游丝、微型电机、电阻、电容、霍尔元件、晶体管、集成电路等等，在美国、英国、西德、日本、苏联等一些国家均建立了相应的国家标准。近十多年来，国外厂商为了扩大国外市场，有利于用户，十分重视国际标准。目前，在仪表元件方面主要的国际标准化组织有国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）等。其中国际电工委员会第23技术分会专门从事接插件、开关等标准化研究工作。

8. 大力采用新工艺，使元件的典型工艺日益完善

各类元件都具有本身的一套特殊工艺，在专业化生产过程中，各自逐步自成体系，不断完善。而且在许多工序中采用了新工艺、新技术，从而提高了加工质量，改进了工艺流程，增加了产量。例如，由于采用了离子注入技术、电子束和x射线曝光技术等，促进了高密度

大规模集成电路的发展。瑞士的一些宝石轴承加工厂采用了计算机控制的激光自动打孔机和挖槽机，改进了原来的工艺流程，提高了生产效率。日本的一些光敏电阻生产厂，采用了自动传递烧结炉，旋转式烧结炉，以及原材料、半成品、成品的自动测试技术，为大批量生产创造了条件。

9. 实现了元件设计、制造自动化

元件的专业化生产促进了元件设计、制造的自动化。计算机辅助设计（CAD）技术在国外已应用得相当普遍。日本电气公司（NEC）玉川工场采用 CAD 设计大规模集成电路，大大缩短了设计周期。据称，国外现在设计一个4000位大规模集成电路的制作版图仅需1.5小时。在加工方面，日本东芝、日立等公司在生产集成电路的流程中，用一台微型机控制一台六管扩散炉，实现了扩散温度、时间、流量、掺杂、送片和取片等全自动控制。日本冲电气公司，1976年用微型机控制大规模集成电路生产线上的引线焊机，劳动生产率比原来提高15倍。美国 CP-4400自动探针系统，每台一天可自动测试一百块4英寸的晶片，约5万块片子。此外，大批量生产的光学零件、微型电机、电真空器件、电阻、电容等等元器件也都实现了自动化生产。

10. 重视元件的研究和发展工作

国外不仅元件生产厂重视研究工作，而且早在三十、四十年代许多政府的军事及其他研究部门和院校也已开展元件的研究工作。许多元件都是在军事和空间技术的推动下发展起来的。六十年代以来，这种特点更为明显，集成电路和其他各种固体器件大都均是这样发展起来的。近十多年来，国外各政府部门十分重视元器件的研究和发展工作。以电子元器件为例，法国在六十年代末曾制订过“元器件计划”，在1971年开始的第六个经济发展五年计划中，元器件的发展经费为10亿法郎。西德政府1974年专门制定了“电子元器件五年促进计划”，主要包括集成电路、光电器件、材料研制、器件制造技术、基础研究与新器件等。英国贸易和工业部决定73~78年间拿出一笔巨资来促进本国专用集成电路的发展。日本政府也十分重视电子元器件的发展，77年预算研制下一代电子计算机用超大规模集成电路的费用为86亿日元。美国元器件方面的研制费用要比西欧和日本的总和还高70~80%，这是使其元器件技术居于世界领先地位的一个重要原因。

三、现 状

下面分别介绍一些具有代表性的元件的现状：

1. 集成电路

目前，国外集成电路的年产量已达十多亿块，主要产量集中在美、日两国，其中日本76年的产量达6亿6千万块，平均每块价格为300日元左右。76年集成电路占整个半导体市场的46%。

76年国外大规模集成电路的集成度已达3万2千个元件。目前，美国、日本等一些单位正在致力于研制超大规模集成电路。集成电路产品的现状是：4096位 n 沟道 MOS 动态随机存取存储器（RAM）已有几家公司开始大量生产，并已研制成16384位 n —MOS RAM。MOS 只读存储器（ROM）已达到32千位的水平。存取时间为20毫微秒的256位和1024位发射极耦合逻辑存储器正在广泛应用，50毫微秒的1024位低功耗晶体管——晶体管逻辑存储器和4096

位集成注入逻辑存储器已制成。互补MOS/硅-蓝宝石存储器也得到日益广泛的应用。电荷耦合器件存储器(CCD)已达到32千位的水平,研制水平为64千位,从而将取代机械式大容量磁性存储器,如磁鼓和磁盘。在逻辑电路方面,肖特基晶体管——晶体管逻辑已成为标准逻辑系列。新出现的集成注入逻辑及其改进型正在迅速发展,其最高水平是在2.5毫米见方的芯片上集成1450个门电路。8位字长的MOS和双极微型处理器已有很多产品,16位MOS微型处理器也已在几家公司研制成功。

在线性电路方面也出现了大规模集成的产品,如12位数——模、模——数转换器。此外,国外还生产了CA3140系列新型运算放大器。

国外十分重视集成电路的可靠性工作,以日本为例,74年集成电路的失效率已达0.3非特。

集成电路的发展与采用各种新技术新工艺是分不开的,目前主要采用的有:双极集成电路的各种隔离工艺,MOS集成电路的硅栅工艺,SOS工艺,离子注入,电子束加工,偏置栅工艺,肖特基势垒栅工艺等。目前,大规模集成电路的工艺已成熟。集成电路的成品率较高,例如,日本富士通公司1024位MOS RAM的成品率达70~80%,4096位MOS RAM的成品率达50%。索尼公司大规模集成电路的成品率为40%,中规模为60%,小规模为90%。线性电路成品率为60~70%。日立公司8位微处理器的中测成品率为40%,后道工序为80~90%。

电子计算机是集成电路的最大用户。目前的电子计算机,多数采用中规模集成电路,实现大型机运控逻辑部份的大规模集成电路化,是这几年各国正在攻克的难关。据报道,日本富士通与日立共同研制的FACOM M190机的中央处理装置已成功地采用了高速大规模集成电路。目前,大规模集成电路主要用于袖珍机和台式机。此外,集成电路已在各种仪器仪表中广泛应用,促进了仪器仪表的变革。

2. 半导体分立元件

目前,美、日两国半导体分立元件的年产量达几十亿只。美国76年在通讯和消费类产品用半导体市场中,半导体分立元件所占比重,仍在一半以上,分别为51.5%和58%,在军用半导体市场中,约占48%左右。目前,主要在高频率、大功率方面有了明显的进展,大多数分立元件的工艺技术已成熟。由于采用了电子束曝光、离子束注入等技术和分子束外延、改进封装及散热等新工艺,使元件在功率、频率方面的指标不断提高,噪音不断降低。目前,微波双极晶体管已是一种比较成熟的器件,硅晶体管的技术水平快接近极限。砷化镓场效应晶体管正在迅速发展,并已制成在8.2千兆赫时输出2.2瓦、效率为21.6%的管子。用六个俘获二极管芯片装在一块金刚石上制成的大功率器件,在7.5千兆赫下连续输出功率为35.5瓦,组合效率几乎达到100%的水平。崩越二极管是目前能获得最大微波功率的二极管。场效应管已赶上和超过双极晶体管水平,目前用离子注入工艺制成的低噪声场效应晶体管,在8千兆赫时噪声系数仅2.9分贝,增益达9分贝。

3. 电真空元件

电真空元件在国外也有明显的进展。1976年美国和日本电视显象管、 x 射线管等几种产品产量均有较大的增长。美国1976年电子管产量为10834万只(其中电视显象管为1017万只)。日本电子管产量为6322万只(其中电视显象管为2155万只,包括工业用的26万只。 x 射线管39578只)。此外,美、日还生产微波管、光电管及其他专用管等电子管产品。美国RCA公司是主要的电子管制造厂,产量占美国电子管总产量的70~80%。RCA公司在意大利的子

公司 Vidéocolor 生产的显象管占法国市场的1/3。目前, RCA公司的电子管在世界上居于垄断地位。日本生产电视显象管的主要厂家有: 日立、松下电器、三菱电机、日本电气、帝国电子工业、东京芝浦电气等六家。主要 x 射线管生产厂有: 日立、东京芝浦电气两家。

目前国外生产的 x 射线管, 50~400 千伏的已形成了系列, 电流从小于 5 毫安至 30 毫安, 还生产了具有高灵敏度, 高分辨率, 高效率的小焦点 (0.2×0.2 毫米)、棒阳极、旋转阳极和 360° 角照射的 x 射线管等产品, 此外还有用于结构分析的高功率管子和旋转结构分析 x 射线管, 用于荧光光谱分析的端窗荧光分析 x 射线管等产品。

目前, 阴极射线管除了作为一般的显象管外, 已大量作为计算机的一种显示终端。美国已设计了一种配有微处理器的 YHP-2640A 型“智能 CRT 显示终端”, 增加了功能, 扩大了应用范围。

4. 激光器

激光器近年来有重大发展。以美国为例, 1977 年几种主要激光器的销售额达 1 亿美元, 与 1976 年相比有较大增长。目前, 激光技术已从初期的基础研究和准备阶段, 进入全面发展阶段。目前的工业激光器有半数 is 氦氖激光器, 价格大幅度下降, 氦氖激光器平均售价为 100 美元左右。工业用 CO_2 激光器价格较高, 功率为 50~500 瓦的, 价格为 1 万~4 万美元。

目前, 激光器的连续输出功率最大已达到 20~30 千瓦, 短期工作的达 40 千瓦以上。脉冲峰值输出功率达到几十兆瓦。在波长范围方面, 新的谱线大量涌现, 特别是非线性变频技术的发展, 使远红外和真空紫外波段有很大改观。至今最短波长已接近 x 波段, 达到 350 埃。最近还出现可从红外直至真空紫外波段间连续调谐的所谓自由电子激光器。此外 x 激光与 γ 激光也在大力研究中。由于锁模技术的发展, 最短光脉宽已达到微微秒量级, 个别甚至达到亚微微秒。在频率稳定性和重复性方面, 氦氖激光器已分别达到 6×10^{-16} , 6×10^{-13} 。在使用寿命方面, 氦氖激光器一般为 2 至 3 万小时, 甚至可到 5 万小时。双异质结半导体激光器的寿命不久可望达到 10 万小时。由于激光器的发展, 也促进了激光系统的其他元件的迅速发展。

5. 半导体传感元件

国外半导体传感元件已形成了较大的生产能力, 日本 76 年热敏电阻的产量达 13818 万只, 光电变换器件达 17027 万只。目前, 国外生产的半导体传感元件已达八大类 (磁→电; 压力→电; 热→电; 光→电; 放射线→电; 湿→电; 气→电等), 这些元件的应用, 促进了仪器仪表的固体化和小型化, 而且能提高仪器仪表的性能和扩大应用范围。

热敏电阻方面, 法国已制成能用于高至 1200°C 的高温热敏电阻。苏联制成了可用于液态气体沸腾温度的低温热敏电阻。目前, 氧化物半导体、单晶半导体、玻璃半导体、有机半导体等材料的热敏电阻已大量生产。一般使用寿命为 5000 小时, 保存时间为 3~10 年不等。

光敏电阻方面, 日本毛利利卡公司制成由 64 个元件组成的 MMB₂-002 型复合光敏电阻。日本松下电器公司制成 TO18 型夹层型光敏电阻, 其灵敏度要比有栅状电极的光敏电阻高 100 倍。日本毛利利卡公司还制成新型片式微小型硫化镉光敏电阻 (MPY-515C 型)。此外有些厂家还制成了大面积紫外、红外和微秒级快速响应的光敏电阻。光电池方面, 硅兰光电池引人注目, 配上集成电路可取代光电倍增管。最近国外还制成响应时间为毫微秒的新型磷砷化镓光敏元件, 目前已成功地用于高级照相机, 这也是一种有前途的光敏元件。

应变元件方面, 国外已大量生产扩散型、外延型、薄膜型、体型等半导体应变片。其中,

美国生产的硅应变片、一般使用寿命为12500小时，军用品达16800小时。目前，半导体应变片的温度使用范围为 $-60 \sim +300^{\circ}\text{C}$ ，并正在研制用于高于 500°C 的高温应变片，据说单晶碳化硅应变片是一个重要途径。美国、苏联已制成集成应变器件，这是一体化元件的重要进展。

磁敏元件方面，苏联制成了高温砷化镓霍尔元件，可在 250°C 长期使用和在 300°C 短期使用。西德西门子公司制成可用于 $-269 \sim +80^{\circ}\text{C}$ 的低温霍尔元件。美国 Bell 公司生产的霍尔元件，磁通密度范围为毫高斯至千高斯，线性可达 0.1% 。此外，霍尔集成器件也已大量生产。

在气敏、湿敏等其他敏感元件方面，也有了明显的进展。

6. 阻容元件

阻容元件的产量很大，美国75年电阻器产量达568660万只，电容器达278140万只。日本76年电阻器产量为1964006万只，电容器为2409661万只，分别比75年增长 45% 和 80.4% 。

金属膜电阻器是仪器仪表中常用的电阻器之一。国外生产的金属膜电阻器，其主要部份是精密金属膜电阻器，精密型的精度约为 $0.01 \sim 0.2\%$ ，半精密型的精度为 $0.5 \sim 1\%$ 。近年来，美国、日本生产的块状金属膜电阻器精度为 0.001% ，稳定性为 $0.0005\%/年$ ，电阻温度系数为 $\pm 1 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ ，上升时间为1毫微秒左右。此外，国外还发展了为适应高集成装配需要的电阻网路和作为集成电路外贴元件的小型片状电阻器。

随着仪器仪表的晶体管化和集成电路化，电容器方面也相应地发生了变化。目前，在有机薄膜电容器中，出现了聚酰亚胺、聚对二甲苯，聚砜等有机物薄膜新产品。金属化电容器得到了广泛的应用。小型化钽电解电容器和铝电解电容器已大量生产。陶瓷电容器占了总产量的一半。可变电容器已系列化。国外十分重视电容器的研究工作，以日本为例71~75年期间，这方面的研制费用达3.2亿日元。

阻容元件的生产已趋向于单机自动化和自动生产线。例如：国外在电阻器生产中采用了自动加帽机、自动刻帽机、打标机、包装机、引线焊机等等。日本在电容器生产中采用了自动生产线，产量大幅度上升，已成为世界电容器的供应基地。

7. 接插件、开关

接插件和开关被称为仪器仪表的“门户”和“通道”而受到广泛的重视。目前，国外品种繁多，美国和日本生产的接插件品种均达十万多种，产量也在逐年增加。日本78年2月份接插件产量为3575万件，估算年产量为4亿件左右，开关产量为4225万件，年产可能要大于5亿件。目前，接插件行业以美国占主要地位，据70年统计，美国年产销值占了世界接插件市场的 $2/3$ 。除美国外，技术水平较高的是日本、法国、西德、英国等。

接插件的产品，除了常用的矩形、圆形、电源、印刷电路、集成电路封装、机内联接等产品外，国外还研制和生产了许多特种接插件。例如：美国国家接插件公司制成13000线接插件。日本AMP公司研制成600线簧片式组合矩形接插件，寿命为5000次。美国物理科学公司研制成“TI”型耐高温全密封式接插件，使用温度范围达 $-254 \sim +816^{\circ}\text{C}$ ，特殊的可达 982°C 和 1093°C 。该公司还生产MS/HP系列接插件，可用于反应堆，防辐射能力达 10^{21} （中子流积分通量），以及用于导弹、宇航系统的脱落分离接插件。此外，还发展了无插拔力接插件、气路接插件和光接插件等新产品。

开关方面也出现了许多新品种，例如：旋转开关的换接位数最多达36位，寿命1万次，最高的达10万次。钮子开关，一般寿命为 $2 \sim 4$ 万次，特殊的达10万次。还出现了快动式、无声式小型按钮开关和带指示灯的按钮开关。钴金触点的滑动开关使用寿命达50000次。拔码

开关寿命达50万次。按键开关也已大量应用。

此外，在指示灯方面，主要采用白炽灯、氖管和半导体发光二极管三种形式。其中白炽灯寿命较低，约为500~1000小时；氖灯可使用1万小时；发光二极管寿命很长，达10年，目前也已广泛应用，产品主要有红、黄、绿三种。

国外接插件、开关的品种繁多，形式五花八门，给维修和互换带来很大困难。有人认为现在的接插件品种有一半是多余的，因此，标准化工作引起了重视。目前，国际电工委员会已专门设分会来从事这方面的标准化研究工作。

8. 弹性元件

弹性元件已有百余年的悠久历史。但是，由于它具有简单、可靠等特点，目前仍被大量生产和应用。常规的产品有：金属波纹管、膜片膜盒、弹簧管、游丝、张吊丝等。国外弹性元件的产量很大，日本1972年压力表产量达800万只（弹簧管的产量要多于此数）。1969年西德卡尔·哈斯游丝厂产量达1亿件，占当时世界产量的1/3。金属波纹管和膜片膜盒虽没有详细的产量数字，但估计也不会低于几千万只。

金属波纹管方面，产品外径范围为 $\phi 1 \sim \phi 5000$ 毫米，仪器仪表中常用的是 $\phi 1 \sim \phi 150$ 毫米。美国、日本生产的高精度波纹管非线性为0.4%，滞后小于0.3%。高压压缩性波纹管，压缩是可达70~80%。恒弹性波纹管，采用Ni Span C902合金制成的产品性能良好。耐高压波纹管，耐高压范围达100~700公斤/厘米²。耐高温波纹管，最高使用工作温度为1000℃。耐腐蚀波纹管，采用了多种耐腐蚀材料和复合材料，已基本解决了在常温下酸、碱、放射性等多种腐蚀介质中的使用问题。此外还制成了外径小于1毫米的电成形波纹管和小型异型波纹管。波纹管的使用寿命一般为50~100万次，也有更高的。

膜片膜盒方面，产品主要有金属和橡胶两类。一些厂家生产的精密膜片膜盒，滞后小于0.1%。耐腐蚀产品已大量生产，一般采用Hastelloy B、C、AISI 305、306等材料。耐高温膜片可在350℃下工作。此外，最近还发展了用石英和硅制成的膜片膜盒，这是提高弹性元件精度和稳定性的途径，受到了人们的重视。

弹簧管方面，美国用高精度弹簧管制成的压力表精度达0.001~0.066级。意大利生产的耐高温弹簧管，可用于600℃高温。日本的耐高压弹簧管可耐压至20000公斤/厘米²。美国生产的小型弹簧管，外径小于0.75毫米，壁厚小于0.1毫米。美国、日本还采用了石英弹簧管，这种弹簧管具有稳定性好、弹性高、滞后小等优点，适用于制作高精度测压仪表。此外，国外还制成了一些耐腐蚀弹簧管。

游丝和张吊丝方面，国外0.1级电表用张丝已大量生产。游丝、张吊丝的标准比较健全，如西德等国均有国家标准（DIN43801）。根据不同需要采用了不同的材料，除了采用一些铜合金材料外，还采用了不锈钢、镍铁合金（NIVAROX）、铬镍铁合金、铂银等材料。

9. 宝石轴承

目前，宝石轴承的生产和研究工作以瑞士技术水平最高，产量最大，其次是法国、英国、日本、意大利、美国。世界上最大的宝石生产厂是瑞士的Djeva造宝石烧结厂，年产人造宝石60吨。瑞士Synton工业宝石轴承厂，年产工业宝石轴承2500~4000万粒。估计世界各种宝石轴承年产量达10亿粒左右。许多国家已制订了宝石轴承国家标准，如西德DIN8261、英国的BS904（1948）、苏联的ГОСТ7137（61）等。宝石轴承的加工精度，一般生产厂均能达到，瑞士Seitz厂，宝石轴承的尺寸公差为 $\pm 0.01 \sim \pm 0.03$ 毫米。瑞士的一些厂家，在生产各

工序中大都采用了单机自动机，生产效率很高，例如：一些厂采用一种小型自动无心磨床，每人可看管4~5台，每日可加工4~5万粒。激光打孔挖槽机，采用了计算机控制，能控制锥形槽的深度和锥度，而且生产效率很高。

10. 机械计数器

机械计数器的产量和用量很大，国外有许多专业生产厂，如西德IVO公司，英国数字机械公司，Trumeter公司，日本的三协精机（电气部），北阳电机（株）（自动化公司）等等。生产的产品繁多，仅英国Trumeter公司一家主要品种就达20种，最近该厂还发展了许多电子——机械式计数器。看来机械计数器今后仍将得到发展。

11. 光栅

物理光栅方面，目前技术水平较高的厂家是美国的鲍许·隆姆公司，该公司已生产了3000多块母光栅和大量的复制光栅。目前，国外使用的光栅，平面的要比凹面的多两倍，刻线数一般为20~3600条/毫米，美国鲍许·隆姆公司曾刻过10800条/毫米的光栅。刻划面积最大的达750毫米（30英寸），最高分辨率达百万级。目前复制光栅技术已成熟。美国鲍许·隆姆公司，第一代光栅可复制一百块以上，并能复制第三代、第四代、甚至第五代的光栅。全息光栅已获得实际应用，目前技术水平较高的是法国若宾——伊冯公司，其次是西德、日本等。这种光栅的优点是制造方便，散射光小，无罗兰鬼线。全息光栅的应用正在扩大，但由于存在某些缺点，看来不能取代刻划光栅，而是一种重要的补充。

计量光栅方面，由于电子细分技术的采用，目前，计量光栅已成为实现机床和仪器数字化的重要手段。其代表性的厂家是西德海顿汉公司，国外生产的计量光栅，刻线范围为20~250条/毫米，工业用1米计量光栅全长误差小于 ± 0.5 微米，圆光栅的精度达到 ± 0.1 秒。

12. 干涉滤光片

干涉滤光片已得到了大量生产和应用。美国Barid-Atomic公司现能生产1000个以上品种和规格的标准滤光片，据说能满足需要量的80%，波段范围从远紫外到远红外。目前，美国有12家公司能制得完整谱线的红外干涉滤光片，较好的产品有：通带范围为1~100微米的红外滤光片，典型的半宽度达18埃，最大透过率为30%；紫外滤光片，一般能达2000埃，个别可达1200埃。国外许多公司能制作窄带滤光片，其中英国技术光学公司的产品，峰值波长为6528.8埃，半宽度为0.05~1埃，峰值透过率为50%。

制作干涉滤光片主要的关键是镀膜工艺和设备，技术水平较高的代表性厂家是瑞士的Balzers厂。该厂采用的镀膜设备特点是：稳定可靠，效率高、自动化程度高，而且采用了无油真空系统。该厂已在全厂镀膜设备上采用了全自动穿孔卡片程序控制“COAT-O-MAT-ZC”。

此外，国外在膜系分析设计方面也已广泛采用了电子计算机。

13. 光学纤维

目前，光学纤维产品分常规光学纤维和光学通讯纤维两大类。

常规光学纤维已得到了大量生产和应用，一般有传光束和传象束两种。目前，纤维的白光透过率，每米已超过60%，传象束的鉴别率，单丝直径为15微米的，一般为40线对/毫米左右。高鉴别率的纤维束通常用于医用内窥镜。工业内窥镜常用的鉴别率有25、28和31线对/毫米等几种。传光束纤维的材质，除采用玻璃外，正在大力发展塑料纤维。美国从77年开始已开展了自聚焦塑料光学纤维的研究工作。此外，国外还有红外纤维、紫外纤维、激光纤

维等产品。

光通讯纤维方面,日本电报和电话公司已制成0.47分贝/公里的低损耗纤维。国外有的厂家,一次已拉出10公里长的光学纤维。光学纤维的发展,推动了光通讯的研究工作。目前光学纤维通讯已处于工程实用实验阶段。

由于光学纤维拉制工艺的改善和光学纤维的价格大幅度下降,目前,低损耗纤维的售价约每米1美元,光缆的售价约每米10美元。

14. 集成光路

集成光路的基本思想是象集成电路那样,把光源、光波导、耦合器、调制器、探测器等光学元件,全部集成在一块衬底上,构成一完整的光学系统。它是实现光计算机的关键。目前集成光路还远未达到实用阶段。已制作的集成光路有单片式和混合式两种。制作单片集成光路的主要材料是采用砷化镓半导体,存在的问题是光波在它的波导结构中衰减较高,大约为理想波导结构损耗1分贝/厘米的四倍。混合式集成光路衬底材料一般采用扩散钽的 LiNbO_3 ,光源材料是GaAs。但在无源器件和有源器件间的耦合还是个大难题,因此,目前国外主要致力于发展单片式集成光路。

目前已制成的功能器件有:每厘米光损耗低达0.04分贝的六甲乙硅醚有机塑料传光薄膜;光耦合系数高达99%的光栅型与渐变薄膜型光耦合器;象砂粒大小,厚度不到万分之一厘米,长和宽均为十分之几厘米的分布反馈薄膜激光器。另外,也已初步做到把各种功能器件集成在同一基底材料上。但是,要得到实际使用的中、小规模光路,还需几年时间。

四、展 望

当前,科学技术的发展速度是史无前例的。可以预计,在现代科学技术的基础上,今后的发展速度将会更快。有人把今后30年称为“教育时代”,这种提法说明了只有使更多的人掌握牢固的知识,才能适应今后科学技术发展的需要。有人估计,未来十年科学技术的发明与发现将比以往十年的翻一番。同样,仪器仪表元件的发展速度也不会例外。下面分别展望几种元件的发展。

1. 集成电路

集成电路今后的进展仍将是迅速的,新工艺、新技术的采用将进一步提高集成电路的功能密度,进一步降低每一功能的成本,大大改善元器件的性能。预计到1980年,集成电路的失效率可达到0.1非特以下,用它制成16K的数据处理机,其平均无故障工作时间可达600年。预计在十年之内,双极型结构器件的门时延达到100微微秒,场效应器件开关速度可望达到十分之几毫微秒。功能密度方面,今后几年,预计在不到1.6平方厘米的芯片上,可集成几十万个元件,到八十年代,超大规模集成电路将实用化,从工艺技术的发展来看,廿年后,集成度将达到10亿。在集成电路的发展中,数字电路仍将起主导作用。其中存储器和微处理器将有很大的发展。存储器除了集中发展已占主导地位的单管单元MOS RAM外,电荷耦合存储器技术和电子束存取存储技术也将得到很大的发展。微处理器1980年频率将达50兆周,芯片集成度达20万个元件,芯片尺寸达500平方密耳。线性集成电路将继续向高频、低噪声、低功耗、大功率及耐高压方向发展。

集成电路的发展,促进计算机技术的发展。预计美国到1980年计算机将增至一千万台。

八十年代的电子计算机将可运行 5 ~ 10 年而不发生故障。到 2000 年, 计算机将广泛地应用于各个部门, 它将成为所有工业系统中首屈一指的最大工业。

集成电路也将促进各种仪器仪表的发展。使仪器仪表的结构发生重大的变革。今后, 微处理器将能作成类似半块口香糖大小的器件, 广泛地应用于仪器仪表中, 以进一步提高仪器仪表的精度、可靠性和扩大功能。

2. 半导体分立元件

半导体工业总的趋势是逐年增加, 但分立元件的发展速度将减慢, 所占比重也将逐步减少。据估计, 到 1985 年, 半导体电子元件在市场中的比重, 将从 1970 年的 20.1% 增至 30.2%, 但分立元件则从 14% 下降到 9.1%。主要原因是某些领域由集成电路所取代。

半导体分立元件所用的硅技术, 在今后较长的一段时间内仍将是半导体分立元件的基础, 还不大可能被其他半导体材料所取代。砷化镓和磷化铟等其他半导体材料, 特别是砷化镓, 将广泛地应用于工作频率超过 1 千兆赫的器件方面。今后半导体分立元件将向高频、大功率和低噪声方向发展。

3. 电真空元件

随着科学技术的发展, 电真空元件将进一步发展。电视显象管将重点发展和普及彩色的产品。x 射线管向高灵敏度、高分辨率、高效率、陶瓷化方向发展。其他电真空元件也将继续发展。

4. 激光器

从来没有一种技术象激光技术那样以极其惊人的速度变为科研的手段, 它对科学技术的影响是半导体技术也无法比拟的。

今后激光器主要是向大功率、稳频、可调谐、集成、x 射线、 γ 射线等方向发展。激光器的应用和由激光所形成的各种新的科学领域将发挥更大的作用。今后, 激光器将进入全面发展阶段。

5. 半导体传感元件

随着集成电路的发展, 半导体传感元件的研制工作将进一步加强。元件的性能向提高稳定性、可靠性、一致性、精度、灵敏度及多功能等方向发展。元件的结构向一体化发展。元件的材料, 除以硅单晶为基础外, 还大力发展各种化合物半导体和其它材料。此外, 将进一步研究半导体的各种效应, 发展新型元件。可以预见, 半导体传感元件将在仪器仪表中得到广泛的应用。

6. 阻容元件

阻容元件今后仍将有很大的发展。

电阻器方面, 美国有人认为: “电阻器今后仍是一种十分活跃的元件, 为了适应集成电路的发展, 电阻器除了进一步小型化, 作为分立元件继续存在外, 还可以把若干个电阻器制成一个完整的网路”。这种“电阻网路”可用来制作衰减器、分压器、数模转换器。与单个电阻器相比电阻网路具有较高的匹配精度, 较小的跟踪温度系数和较小的体积, 是电阻器的一种重要发展动向。

电容器方面, 随着集成电路的发展, 纸和薄膜类的管状电容器产量将减少。电解电容器中的钽电解电容器将被铝电解电容器所取代。陶瓷电容器将继续发展, 金属化纸电容器有减少的趋向。可变电容器仍将进一步发展。今后电容器发展的方面是小型化、低损耗、高稳定

性、高精度、低成本。

7. 接插件、开关

随着仪器仪表向小型化、固体化、集成化、组合化方向的发展,接插件、开关也在发生重大变化。目前,除了加强标准化、系列化工作外,接插件将向小型化和组合化方向发展。但开关的小型化,必须适应人的使用,因此不宜过小。组合式接插件有利于维修,具有广阔的发展前途。开关的固体化是一个重要的动向,将采用霍尔元件、磁阻元件及其他半导体元件来取代机械动作的开关。发展无触点开关,可大大提高寿命和可靠性。另一种形式是开关的集成电路化,即把开关作为电子系统元件的安装底板,使开关成为一个混合集成电路。预计1980年西欧市场固体化开关将占开关总销售额的40%。用固体元件作为指示灯和数字显示,也是当前的一个趋向,发光二极管和液晶显示将大量生产和应用。

8. 弹性元件

在电子技术高速发展的情况下,弹性元件仍将继续存在和发展。今后将进一步发展高精度、高压缩性、恒弹性、耐高温、耐高压、耐腐蚀、小型化等产品。有关弹性元件的基础理论、材料、工艺、测试等基础技术的研究工作也将进一步加强。石英等高性能弹性元件将大量生产和应用。

9. 宝石轴承

宝石轴承的产量至少长期能保持在目前的水平。尽管电子仪表大量应用,但采用宝石轴承作为仪器仪表的支承元件将不会被淘汰。新的廉价晶体材料将扩大应用。人造宝石制作激光固体介质、红外窗口,记录笔尖等新应用将进一步发展。加工自动化的水平将在目前已成熟的基础上进一步提高。

10. 机械计数器

在原有产品的基础上,将继续发展特殊应用和电子——机械式计数器,产量和应用也不会减少。

11. 光栅

为了适应电子光谱、分子光谱、超精细结构、同位素等分析的需要,将进一步发展高分辨率光栅。根据天文物理学方面的需要将发展大面积光栅。将进一步研究降低鬼线和杂散光强度。此外,还将继续发展全息物理光栅、非等距光栅及全息计量光栅等。可以预计光栅的应用将不断扩大。

12. 干涉滤光片

随着激光技术和光学技术的发展,干涉滤光片将得到进一步发展。干涉滤光片是光学薄膜元件之一,与研究集成光路密切相关。目前,国外在光学薄膜方面的研究课题有:①多层膜破坏阈值的研究;②多层膜光散射的研究;③膜层材料在蒸镀过程中折射率变化的研究;④较复杂的和不规则的光谱透过曲线滤光片的研究;⑤塑料和玻璃上低成本膜层的研究;⑥与薄膜技术相关的集成光学的研究等。

13. 光学纤维

随着光学纤维的发展,它在仪器仪表中的应用将会大量增加。据国外有人估计,在大规模生产后,到1980年光学纤维的价格将下降为目前的15~20%。美国计划到1990年时,20%电话局局际干线和15%电话用户回路将改用光学纤维,并利用其带宽的特点发展为电视电话。可以预见光通讯将成为今后的一种重要通讯手段。