

北戴河“敏感元器件及传感器研讨会”

論 文 集

电子工业部敏感元器件专业情报网

一九八六年十二月

TN-5/1

前 言

电子工业部敏感元器件专业情报网于1986年9月26日—10月8日在北戴河召开了敏感元器件及传感器研讨会，到会的有科学院，高等院校、航天部、航空部、邮电部、水电部、化工部、机械部、国家地震局、省、市科委、电子部和23省市代表151人。

研讨会聘请15位专家，高工、教授及出国技术人员，做了专题技术报告，报告主要内容有：传感器技术政策；国内外传感器技术现状及发展预测；传感器的生产工艺和存在问题，以及访日、访美、访法考察报告等等。

根据厂家和技术人员的要求，敏感元件专业情报网将传感器制作工艺和国外考察报告的两部分内容收录在本论文集中，共有13篇论文。

由于时间仓促，缺乏经验，本论文集中存在一些缺点和不足，请批评指正。

参加本论文集编辑和审核工作的有：胡文炯、皮广禄、于竟成、刘光辉。

电子工业部敏感元器件专业情报网

一九八六年十一月二十日

目 录

1、敏感技术考察组访日总结.....	陈重玉、董俊英、王善慈 (13)
2、传感器及其应用技术赴美考察报告.....	王洪业 (7)
3、日本敏感器件技术考察报告.....	寇云起 (18)
4、一九八六年法国国际传感器会议及法国传感器概况.....	董俊英、刘光辉 (11)
5、气敏元件及气体传感器.....	任玉芳 (29)
6、生物传感器.....	许春向 (13)
7、光纤传感器.....	高希才 (60)
8、半导体力敏器件及压阻传感器.....	王文襄 (14)
9、热敏器件及温度传感器.....	杨帮朝 (35)
10、压电式加速度传感器的原理与设计.....	王树山 (16)
11、霍尔效应集成电路的应用.....	朱 云 (15)
12、离子敏场效应晶体管 (ISFET) 的应用.....	虞惇 王贵华 (11)
13、ISFET研究的新进展.....	虞惇 王贵华 (11)
14、压电力敏传感器.....	张福学 (25)

敏感技术考察组访日总结

陈重玉 董俊英 王善慈

(电子工业部元器件局) (电子工业部第49研究所)

一、概况。

应电子工业部第四十九研究所技术委员会特邀名誉委员、日本东京工业大学工学博士、教授高桥清的邀请、电子工业部敏感技术考察组一行三人于一九八五年五月三十日到六月十四日访问了日本,在访问期间参加了日本第五届“传感器基础和应用研讨会”,参观了在筑波举行的“国际科学技术博览会”,访问了日本东京工业大学、日电分析与真空公司、芝浦电子公司、安立电气公司、山武霍尼韦尔公司、东芝公司综合研究所等单位,最后还参观了在晴海举行的日本《一九八五年尖端技术展览会》。

在第五届“传感器基础和应用研讨会”上,与日本一些大学、研究所、公司的教授、学者、专家们进行了接触,了解了站在日本传感器界第一线的单位和个人在想些什么,搞些什么,听取了他们所做的学术报告,给我们以有益的启示。在会上还散发了四十九所的三篇学术论文,受到与会者的欢迎。

在日本东京工业大学,参观了高桥清研究室。他们主要从事非晶硅材料的研究,研究了非晶硅在太阳能电池方面的应用,其后又研究了非晶硅在敏感器件方面的应用,最近又在等离子CVD法的基础上研究了使用光CVD法制备非晶硅及其敏感方面的特性。

安立公司是第一家将非晶硅材料用于敏感元件制造的工厂,在技术上是与东京工业大学高桥研究室合作的。参观了该公司的非晶硅实验室,用非晶硅做的热电元件,及利用非晶硅热电元件组装的高性能的电平仪。关于用非晶硅材料制造压力传感器,由于技术上的一些原因,安立公司现已暂停了研究。

日电分析与真空公司,主要是制造分析仪器,真空设备的公司。近几年来,由于电子工业的大发展,使该公司也获得迅速发展。从八一年的近四百名职工发展到现在千余人的工厂,在真空设备方面他们制做的八室式连续等离子CVD设备尤为引人注目。

芝浦电子公司座落在离东京不远的埼玉县浦和市,在一九八二年只有一百六十七人,可是目前却成为日本最大的热敏电阻的生产厂家。芝浦电子的技术基础是摸索出了一种NTC热敏电阻粉的配方,它是决定器件性能的关键。由此制做了各种温度传感器,开发了它的各种应用。特别是它又触类旁通,研制了使用热敏电阻的绝对型湿度传感器,使一种器件占有了两个领域。

山武、霍尼韦尔公司是日本的山武公司与美国的霍尼韦尔公司合资而取名的。现拥有职工近四千人,是一个比较大的公司。主要从事石油、化工、钢铁等大型工程的自动

控制系统,各种工业用仪表、阀门等。其中浦田工厂的一部分生产扩散硅变送器,其芯片是由美国霍尼韦尔公司提供的,补偿电阻的选择也是由美国霍尼韦尔公司的中心计算机计算后,通过电传传输过来的。

东芝综合研究所是东芝公司的一个大的组成部分。整个东芝公司有近七万人,自创业到现在已有一百一十年了,从事的领域涉及到强电、弱电、工业用电子仪器,设备等多方面,是一个多角的灵活体制。东芝综合研究所共有一千六百七十人,在新材料、新器件、新应用方面走在公司的最前面。据说他们综合研究所中有一个传感器研究中心,但在具体与他们接触时,他们说解散了。

日本的《一九八五年尖端技术展览会》共分为三个馆,即A馆、东馆和西馆。A馆包括传感器及其应用系统,新材料、宇航工业三部分。东馆包括FA系统、LA系统两部分。西馆展览的是CAD/CAM系统。共有二百三十家公司参加展出,其中与传感器有关的有六十家左右。因时间关系我们主要参观了A馆,东馆和西馆略看了一下。共带回七十多家公司,四百多份资料,给出了这些厂家的最新信息。

二、非晶硅敏感技术

1. 非晶硅敏感技术的兴起

所谓非晶硅敏感技术,就是指非晶硅材料在敏感元件中应用的技术。众所周知,非晶硅材料是为研究一种新的廉价的太阳能电池材料而发展起来的,目前已经比较成熟。首先将它引入到传感器领域中(不包括光电领域)来的是东京工业大学的高桥清,关于这个发想的动机,高桥说:现在,不了解的东西,就可能具有潜在的能力。我们在研究非晶硅薄膜物理性质随温度、应力、磁场、电场的不同而变化时,发现了非晶硅材料具有较好的热电特性和应变特性。

2. 非晶硅的热电特性及其应用

实验发现,含有50~70%晶粒的氢化非晶硅(以下都简称为非晶硅)有较大的塞贝克系数。对P型膜为 $180\sim 230\mu\text{V}/\text{K}$,对N型膜为 $-120\sim -210\mu\text{V}/\text{K}$ 。并且在室温附近,塞贝克系数的温度系数很小,对P型膜为 $0.7\%/^{\circ}\text{C}$,对n型膜为 $0.8\%/^{\circ}\text{C}$ 。

现在,日本安立公司已将用非晶硅薄膜制备的热电偶用在高精度的电平仪上,以检测高频信号的功率。目前这种电平仪已做为商品出售。他们认为使用非晶硅热电偶的检测电路比使用真空热电偶的通用电路有如下优点:

- ①烧毁功率与额定功率之比的裕度大,
- ②保护电路简单或不需要保护电路。
- ③热电偶间的特性偏差小,因而实际上对元件不需进行筛选。
- ④组装密度高,因此可以小形化。
- ⑤热稳定性高。
- ⑥频率范围宽。

3. 非晶硅的压阻特性。

对于等离子CVD生长的非晶硅薄膜,高桥及其合作者所获得的特性如下:

表 1 非晶硅的压阻特性

项 数 型	P 型	N 型
应变系数	+ 33	- 20
非线性	0.2%	0.3%
应变系数的温度特性	0.24%	

由上表可以看出,非晶硅有比金属大一个数量级的应变系数,与应变呈较好的线性关系,并且有较好的温度特性。但是,目前这些研究都是在玻璃衬底上制做的,还没有组装成传感器,没有用于工业上。其主要原因可以认为是由于理论上的不彻底和工艺上的不成熟。安立公司在非晶硅敏感技术上是高桥的合作者,我们曾询问过他们非晶硅压力传感器的研制情况,安立公司的古井田说,由于在绝缘过渡层研究中遇到了麻烦,因此目前停止了研究。

这次去东京工业大学高桥研究室,看到他们对非晶硅的生长方法又有所改进。他们采用光CVD法生长的非晶硅薄膜的应变系数已达到了61。他们认为这是因为光CVD法消除了等离子CVD方法中由于放大功率大而造成的离子损伤;增加了结晶的缘故。并且还发现光CVD法生长的薄膜的时漂也比等离子CVD法小。东京工业大学也在研究利用非晶硅材料制造MOS管。

为什么在单晶硅压力传感器已很成熟的今天还要研究非晶硅呢?他们认为非晶硅薄膜除了应变灵敏度比金属的大一个数量级外,通过实验还发现了如下优点:

- ①可以直接做在绝缘衬底上
- ②可以做在非晶衬底上
- ③对应变响应的范围宽
- ④具有纵向效应和横向效应
- ⑤应变系数的温度系数小,易补偿
- ⑥机械性能好,可以进行光刻等精加工另外还可能有如下优良性质:
 - ①在大面积衬底上生长
 - ②在柔软衬底上生长
 - ③在不耐热的有机衬底上生长
 - ④膜的特性时漂小
 - ⑤经激光退火可转化为单晶,故可做为三维器件。

因此,非晶硅的前途是很大的,目前需要在膜的生长及器件制造工艺上多积累丰富经验。

4、非晶硅光学传感器

用制造光电器件的非晶硅材料来制造光学传感器这是很自然的,目前主要产品有颜

色传感器和近距离图像传感器。

对于颜色传感器，由于非晶硅的频谱特性和人眼相近，所以它可以不需要调整频谱特性的红外滤光片。现已做出将红、绿、兰三原色的传感器集成在一起的颜色传感器，可以判别物体颜色。

对近距离图像传感器，采用非晶硅来代替MOS光二极管阵列式CCD图像传感器，可以大大缩短光路实现小型化。不仅如此，还有：①响应速度快，②易实行大面积器件，③由于膜的电阻率大可以不用隔离，④稳定性好等优点。它的主要用途是做电传及计算机图象的输入端。

三 对智能化传感器的认识

1、什么是智能化传感器。

在日本现在仍没有一个严格的定义。多数人总认为它是一个把传感器和微机做一个片子上的器件，但目前还没有一个真正的实例，这样的定义代表了传感器技术的发展方向，但离现实太远了一些。现在有一种倾向，就是从智能化的目的出发来把智能化具体的分成几个阶段。

2、智能化的目的

传感器是电—机械系统的五官，电—机械系统通过传感器来输入信息。人类通过五官对外界进行感知是包括感觉和知觉两个方面的。目前对传感器来讲，可以说感觉方面的功能基本具备，而知觉方面的性能尚有待提高。强化传感器知觉方面的功能，这就是传感器智能化的主要目的。

3、智能化的几个阶段

基于上述考虑，现在有人把具有改善直线性、消除非被测量的影响，提高精度等功能的传感器称为初步具有智能化的传感器。把具有自我校正，自我诊断等自我调节功能从而使传感系统达到省力，省能及具有就地处理功能的传感器称为第二阶段的智能化传感器。把具有多元检测，特征检测、图像显示、图像识别等功能从而能从复杂的被测对象中获取有效情报的传感器称为第三阶段，即名符其实的智能化传感器。

4、实现智能化传感器的手段

为实现智能化传感器大致有如下三种方法：

①使传感器和信号处理器件相结合，这是大家所熟知的，就不多述。

②利用功能材料的性质来实现信号处理功能。

③利用器件的形状和结构所具有的信号处理功能。

对第①方法主要是采用数学处理方式，对第②、③种方法来讲，主要是采用模拟信号处理方式。

5、智能化传感器的现状

对于使用硅衬底材料的传感器，是很容易直接把放大器，补偿电路等模拟电路做在一起，也容易与存储器，微处理器芯片混合集成在一起，实现智能化功能的。

对气体传感器可能要复杂些。目前的一种考虑是把特性不同的气体传感器组合在一起，利用每个元件对不同气体的不同灵敏度而形成的特征曲线，来对气体进行测定的方

法。一个例子是将6个特性不同的厚膜气体传感器对不同标准气体所产生的输出进行记忆,然后将对被测气体所产生的输出通过计算机同存储的图形相比较来判断气体的种类,同时也能计算气体的浓度。

6、智能化传感器的前景

智能化传感器的前景总的一句话就是向生物传感系统方向发展,大致分以下三个方面:

①信号处理方式不单采用数字处理方式,也要采用模拟处理方式,因为象视觉、听觉、触觉等感知的是具有空间分布的信息、因此,用模拟法处理是简单而且有效的。如:同样的声强、同样的距离、但在不同的方向上发声时,经过耳廓的遮挡就会使人容易判定声音的来源。

当然,二者相结合,可能会在智能化中起更大的作用。

②前景之二是三维传感系统,即建立在硅的先进加工工艺之上最新型的硅传感器件。

③将传感器与执行器做成一体化。特别是对触觉来讲,二者是必须合一的,因为依靠传感器的趋向性运动可以大大减轻信号处理部分的负担。

四、从第五届研讨会看日本研究界的动向

1、日本第五届传感器基础及应用研讨会概况

日本的传感器基础及应用研讨会,从一九八一年开始,每年举行一次,今年为第五届。参加这次会议的约有四百八十人,发表论文五十五篇,还有六篇专题报告。五十五篇论文大致分类如下:

①温度传感器	6 篇
②湿度传感器	2 篇
③光、红外传感器	6 篇
④光纤传感器	4 篇
⑤气体传感器	4 篇
⑥压力传感器	10篇
⑦电流、磁传感器	4 篇
⑧化学、生物传感器	5 篇
⑨热量、射线传感器	4 篇
⑩流速传感器	2 篇
⑪传感器的应用	6 篇
⑫其它	2 篇

六篇专题报告的题目为:

- ①化学场效应晶体管在生物医学中的应用。
- ②激光干涉测量。
- ③气体传感器。
- ④非晶硅传感器。

⑤机器人与传感器。

⑥传感器技术的体系化。

2、生物医学传感器

生物医学传感器近年来国外发展很快现在比较成熟的生物传感器，如脲素传感器、葡萄糖传感器等已脱离单个品种的研究阶段，正向多功能化、集成化、实用化方向发展。

东京工业大学以森泉丰荣为首的小组已研制成了单片多功能生物传感器。

它是在2.5mm见方的SOS片上制做的。上面共制造了五个场效应管，其中二个是金属做栅电极的，其目的是以它们的静态特性做为其余的基准。五个场效应管的沟道长度20 μ m宽为500 μ m。

所用的兰宝石厚度为0.4mm，它上面生长的P型Si为(100)面，厚度是6000 $\text{\AA}$ 。栅的绝缘层为氧化硅和二氧化硅，各为1000 $\text{\AA}$ 。在栅的地方刻出一个200 μ m $\times$ 600 μ m的栅池，生长SiO₂后，将含有酶和感光剂的PVA注入到栅池中，干燥后用紫外光照射形成敏感栅膜。这样可以同时测量脲素葡萄糖。

生物传感器在测量时要有个标准液，通常测被测液和标准液之间的差值，以获取被测液的信息，这或是将传感器拿来拿去，或是交替不断的将标准液和被测液供给传感器，无论采用那种方法，都是很麻烦的。因此东京工业大学又和凸版印刷株式会社合作、研究了一种小型、高速的生物传感器测试系统。

这是一套包括管道、泵及阀门在内的供液系统。他们将喷墨打字机里使用的压电泵移植到系统内，与离子敏或生物医学传感器相结合，构成了一个小型、高速测量系统。其具体结构如下：

将样品（血或体液）送到传感器上的压电泵，外径为1.1mm，内径为0.7mm，长为10mm，它的中间插着一个壁厚为0.1mm的玻璃喷嘴，喷嘴直径为65 μ m。当在园筒形压电泵的内测电极和外测电极之间施加电压时，从喷嘴处就向传感器喷出试液，供测量用。使用该系统进行了PH值及脲浓度的测试实验，证明此方法是可行的。

其它形式的生物医学传感器也不断出现，比如筑波大学物质工学系利用能触发光反应的酶制造了发光型酶传感器、免疫传感器及酶光二极管。九州大学利用自激振荡膜制造了味觉传感器，这些进一步丰富了生物医学传感器。

3、低温温度计的进展

由于常用的铂电阻、钯电阻、金—铁热电偶等低温用温度计，在低温状态下比热变小，所以易受外部干扰，产生误差，为解决这一问题，大阪府立技术研究所和大阪大学低温中心研究了利用铌薄膜作电极制造的低温温度计。由于铌薄膜能在一极窄的温度范围内产生超导转移，所以，可以利用这一特定温度来进行温度计的自我校正和经时变化的监视，以提高测量的可靠性。

具体制造方法如下：

测温用电阻材料采用的氮化铌是在 6×10^{-7} 托压力下，使用氩稀释的氮气，采用磁控溅射而制备的。膜是富氮性的，因此具有负的温度系数，并且灵敏度也是随温度降低而增加的，从室温的0.25 Ω /K到4.2K的96 Ω /K。

铌薄膜是采用四极溅射制做，首先将真空室排气到 1×10^{-7} 托，然后对靶进行两个

小时的轰击清洗。淀积时衬底温度为 400°C ，膜厚约 $2000\text{ \AA}$ 。X线衍射表明为bccNb (110)取向，粒子直径为 $150\text{ \AA}$ 。

在测试中，对氮化铌采用的是四端法，对铌膜采用的是两端法，所以包括了引线电阻。在 9.5 K 左右，铌电阻阻值发生剧变，这个温度就是其特征温度。

另外，在利用硅二极管正向特性做温度传感器时，发现在低于液氮温度下，产生电子的冻结，使其难于向杂质能级跃迁，特性变坏。因此，电子技术综合研究所利用禁带宽度小的铋化铟材料，制成了在 150 K 以下的低温用温度传感器，在 30 K 以上显示较好的直线性，并且灵敏度高，离散性小。

4、气体传感器

①汽车用气体传感器

目前在气体传感器的研究中，环绕减少汽车的燃料费用和降低尾气中有害气体的浓度而使用的汽车用气体传感器上颇下功夫。

九州大学报导了使用 TiO_2 、 Al_2O_3 或 MgO 以及 SrCO_3 为材料的P型富氧燃烧氧传感器。它在较低的氧分压时也具有较好的稳定性。

它的制造方法是首先将按一定比例混合的原料，经 1200°C 、2小时的烧制后，加压制成直径为 $\Phi 10\text{ mm}$ 、厚度为 1 mm 的园片，再经 1200°C 、6小时烧结后，在园片的两面制做铂电极。在烧结的过程中，由于 $\text{SrMg}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ 系材料成型困难，因此添加5%的甲基纤维素做粘合剂。

把元件置入一个丙烷与氧燃烧的尾气中，两端施加一个工作电压时，随着氧气过剩率 λ 的变化，元件的电阻会发生相应的变化，这样通过检测流过元件电流的变化就可以求得 λ 。理想的特性是当 λ 减少时，电流也单调的减少。但当 $\lambda < 1$ 时，电流应为零。对于试制的 $\text{SrAl}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$ 及 $\text{SrMg}_{0.4}\text{Ti}_{0.6}\text{O}_3$ 两种材料的元件来讲，当 $\lambda > 1$ 时，电流呈理想特性。当 $\lambda = 1$ 时，有明显的拐点，当 λ 在小于1的范围内变化时，电流值几乎不变。因此这两种材料是最适于做富氧燃烧传感器。

在会上，丰田中央研究所报导了使用 $\text{ZrO}_2 + y\text{b}_2\text{O}_3$ 固体电解质的阈值电流式氧传感器，研究了它在不同气氛中的特性。

在 $\text{O}_2 - \text{N}_2$ 气氛中，传感器的阈值电流是与氧浓度成比例的。在 $\text{H}_2\text{O} - \text{O}_2 - \text{N}_2$ 气氛中，元件的电流随电压的变化呈现两个阈值，低电压端的阈值电流取决氧气浓度，高电压的阈值电流与水汽浓度有关。对 $\text{H}_2 - \text{O}_2 - \text{N}_2$ 气氛，当氧浓度一定时，阈值电流随氢气浓度而变化。

②其它气体传感器

金沢工业大学试制的高灵敏度氨传感器是采用高频磁控溅射法在纯Ar的气氛中溅射 ZnO 薄膜制造的。衬底使用的是7059玻璃，真空度为 6.0×10^{-3} 托。可予先在靶里加 $\lambda\text{Al}_2\text{O}_3$ 或 S_2O_2 粉未来进行掺杂。 ZnO 的膜厚为 $3000\text{ \AA}$ ，电极使用的Al或Au。制作的元件的电阻率为 $10^{-1} \sim 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

将元件放入密闭容器中，分别通入丙酮、乙醇、氨、丁烷、甲烷或氢气，发现只对氨气显示出电阻增大，对其它的气体电阻都是减少。这样，表明了该种元件可以制高灵敏的并且有选择性的氨气传感器。

信州大学伊东报道了用铂代替钯制做Pd—MOS管来检测氢气，在反向电压下，当空气中混有氢气时，其反向电流发生明显减少，而pd—MOS管却是增加的。

5、不断追求精度的压力传感器

硅杯式压力传感器自问世后，由于众多研究者的努力，已经成熟并广泛用于工业生产中。但是现在日本的一些大公司仍然非常重视基础研究。挖掘一切可能的潜力，不断地提高已有产品的性能。

一般来说，硅杯式压力传感器的外加压力和输出电压之间的非线性是由硅杯弹性膜的大弯曲效应及压阻效应的非线性两方面原因所引起的。日本电气公司首次详细地对矩形弹性膜的大弯曲效应进行了解析，结果表明，对大量程的高压传感器，大弯曲效应所引起的非线性误差不大；而对小量程的低压传感器，由于为了提高灵敏度而增大了边长与膜厚之比，所以大弯曲效应的影响是显著的。

丰田中央研究所发表了“硅压力传感器温度特性的非线性”一文，测量了厚度为 $22\mu\text{m}$ 面积为 $1\times 2.5\text{mm}^2$ 的长方形弹性膜硅杯式压力传感器的温度特性，得出下列三点结论

a、应变电阻的温度系数的一次项系数较强地依赖杂质浓度，随其增加而下降，在 10^{18}cm^{-3} 附近具有最小值。

b、灵敏度的温度特性受杂质浓度的影响较小。

c、应变电阻及灵敏度的温度特殊的非线性程度大体相同。

他们根据上述结果，采用计算机模拟用离子注入控制补偿电阻的杂质浓度，制造的元件在 $-50^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内，灵敏度的变化仅为0.7%。

日立制作所在应变电阻的设计上下功夫，发表了“压力传感器的应变电阻配置与特性的三维表示”一文。用计算机解析了应变电阻在弹性膜上的位置与非线性误差的关系，并将所获得的结果绘制成三维图象。

通过计算，应变电阻在弹性膜上较好的设计位置是在 $\{100\}$ 面上， X_R 、 X_T （ X_R 为沿半径方向， X_T 为沿圆周方向上电阻距圆心的归一化位置）都在1附近，在 $\{110\}$ 面上 $X_R\leq 1$ ， X_T 为任意值，在 $\{111\}$ 面上， $X_R\leq 1$ ， $X_T\leq 0$ 的位置。

各家公司正是由于这样孜孜不倦地进行基础研究，探讨科学技术上的一个接一个的奥妙，才使自己的成功建立在坚实的基础上，使自己的产品在激烈的竞争中立于不败之地。

6、硅薄膜材料在传感器中的应用

在第五届传感器基础及应用讨论会上，发表的有关硅薄膜及其传感器的文章共有五篇，从传感器的领域上看，已经突破了压力传感器的范围，出现了硅薄膜热电器件。从薄膜的结晶性来分，可分为：单晶硅薄膜、多晶硅薄膜、非晶硅薄膜等三个方面。

关于单晶硅薄膜，丰桥科学技术大学研究了在兰宝石上外延的单晶硅薄膜的压阻性质，发表“SOS元件的压阻效应及其在压力传感器中的应用”一文。作者认为，由于在兰宝石上外延硅时，二者间的热胀系数之差产生了残留的压缩形变。因此，当它受到一个压力作用时，其导电率的变化与单晶硅的行为是不一样的。作者使用圆片形SOS材料，在沿半径方向上及沿圆周方向都制造了n型扩散电阻和n沟道的增强型MOS场效应

晶体管。研究了在压力作用下，它们产生的导电率的变化与在衬底上的位置及与晶向的关系，分析了n型扩散电阻与MOS反转层的导电率变化差异的原因。实验结果表明了SOS材料的扩散层及MOS反型层随压力产生的导电率的变化都呈现良好的直线性。SOS膜与单晶硅材料由于MOS反型层的存在而显示了明显的差异，其原因是由于残留的压缩形变。如果注意到可以采用控制栅电压的方法来消除MOS管的漏电流对温度的依赖关系的话，那么使用SOS MOS晶体管，可以制做应用范围更广的压力传感器。

信州大学与长野计器制作所对多晶硅薄膜进行了研究，发表了“多晶硅薄膜压阻元件”一文。论述了通过二氧化硅层作绝缘，沉积在不锈钢弹性膜上的多晶硅薄膜的制造方法及性质，及用它构成的SOI结构的薄膜型压力传感器的性能及特点。

多晶硅薄膜是用等离子CVD法生长的，为提高其结晶性在生长过程中添加了过量的硼，所获得的多晶硅薄膜的应变灵敏度为12~20，并且基本上不随测量的温度变化。用这样的薄膜所制得的压力传感器，非线性在0.1%以下，灵敏度的温度系数为-0.002%/℃，并且具有廉价、耐高温及对被测介质限制少等优点。

非晶硅薄膜传感器部分，前面已有，此处就不赘述。

7. 其它半导体敏感元件

(1) 单片硅集成化流速传感器

无论在医学或汽车上都广泛使用流速传感器，过去的硅流速传感器由于响应慢在同一片子上不能制作检测流体温度的元件而减少了竞争能力。这次丰田中央研究所利用多孔氧化硅做热绝缘膜，将流速传感器的加热元件和检测流体温度的元件集成在一起解决了这一问题。

器件做在P(100)型硅片上，厚为360μm，首先用HF进行阳极处理形成20μm厚的多孔晶，阳极氧化成多孔SiO₂，在其上制做薄膜测温元件，而对加热元件，在背面用Si₃N₄膜做掩蔽进行异向腐蚀而在二个器件间造成热绝缘。

这个器件的优越性为

- ① 批量生产，价廉
- ② 可集成化
- ③ 响应快为10
- ④ 测温、加热元件一体化
- ⑤ 平面结构对被测系统影响小等特点。

(2) 继P-N结型，锂漂移型Si放射线传感器之后，朝鲜大学，横滨国立大学、东京大学等三个大学合作，又研究了M-MO-Si型X线、Y线的检测器。大致工艺如下：单晶硅的厚度为0.3mm，电阻率为4kΩ-cm，表面钝化是用的真空蒸发的WO₃，电极是Au和Ag。

8. 使用压敏导电橡胶和液晶的二维压力传感器

由制品科学研究所研制的该传感器是一个平面结构，共分四层，第一层S₁和第三层S₃是银电极，中间一层S₂是压敏导电橡胶，最下层S₄是胆甾醇系的液晶，它的特性是随着温度的变化其颜色也会发生变化，在20.7℃时是红，22.9℃为绿，30.8℃为紫红，32.5℃为兰……。

它的原理是当器件受到压力的作用时，其下面的压敏导电橡胶的电阻值下降。如果在 S_1 与 S_3 间加有电压时，便有电流流过，因而会产生相应的焦耳热而使该部分温度上升，使 S_4 的颜色发生变化。

器件为 $100 \times 100 \text{ mm}^2$ 当手掌按上后，所按部分的大部分变成紫红色，左右两侧为绿，显示了手按上后各部分压力的相对关系。

9. 微机在传感器研究中的应用

随着计算机的普及，传感器和计算机相结合构成一个智能化系统，这是二者在应用方面的结合。然而在传感器的研制中，计算机的功劳也是巨大的。除了上面讲过的利用计算机进行计算，模拟，设计外，还有一种就是利用计算机进行显示。比如，青山学院大学国冈昭夫等人研制了一个使用 TiO_2/Se 为材料的光电二极管，并由此制成了判别物体颜色的颜色传感器，可以判断30种以上的标准颜色。怎样对这种传感器进行标定呢？显然这按普通的方式是困难的。国冈等人把这颜色传感的输出信号经过一套信号处理系统和计算机相接再用计算机控制彩色显示屏幕，这样在显示器上就能显示出经传感器检测的被测物的颜色，用眼睛一看一目了然，所显示的颜色和被测物的颜色是非常一致的。所以，传感器的应用离不开计算机，传感器的研制也离不开计算机。

10. 传感器的体系化及体系化的困难

随着新品种新型的传感器不断地出现，传感器的体系化已提到日程上来。因为不仅传感器的研究者为更合理地有效地开发新传感器需要对已问世的进行分门别类地归纳整理，确定自己的研究方向，传感器的使用者为要从浩瀚的传感器种类中确定满足自己体系需要的最佳传感器，也需要对整个传感器概貌有个系统的了解。

对传感器根据不同的原则可以有不同的分类。根据所利用的物理定律：守恒定律、场的法则、统计规律，物质的性质来分可以分为结构型和物性型；根据传感器与被测体的关系可以分成接触式传感器和非接触式传感器；根据信号的选取方式来分可以分为固定方式、补偿方式和差分方式；根据传感器的构成来分，可以分成无源传感器、有源传感器、代有信号处理功能的传感器，代有补偿功能的传感器及复合式传感器；根据测量量来分可分为温度传感器、湿度传感器、压力传感器、光传感器……。

但是由于传感器无论从那一个方面来讲都是相当复杂的，它所涉及的学科十分广泛，依据的定律超过上百个；它所利用的材料包括金属、半导体、陶瓷、高分子……；它的应用范围遍及工业、农业、气象、医疗、宇航、家用等整个社会；因此无论用那种方法都难于将所有的传感器归纳在一起，无论从那种角度都难以建立一个统一的供解析用的数学模型。在第五届研讨会上有关传感器技术体系化的报告中没能将最近发展迅速的化学传感器、生物医学传感器包括进来，说明了体系化的困难，给人们留下了一个值得探索的领域。

五、日本传感器工业界概况

日本传感器工业界的发展目的主要是满足各行各业的需要，扩大市场占有率，增加企业利润，因此不惜采用各种新技术提高现有产品的各方面性能。

1. 向小型化方向发展

在晴海展览会上日本三协国际公司展出的号称世界最小型的扩散硅杯式压力传感器,对圆柱型的外形尺寸为 $\varnothing 1.27 \times 6.4 \text{ mm}$,对扁平型的外形尺寸为 $6.4 \times 2.3 \times 0.51 \text{ mm}$ 对代有螺纹的其螺纹部分的外形尺寸为 $\varnothing 3.56 \times 11.1 \text{ mm}$ 。其典型性能如下

量 程: 2psi~300psi
满量程输出: 24mv~75mv
非 线 性: $\pm 1\% \text{ FS}$
零位 温漂: $\pm 27 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
灵敏度温漂: $\pm 0.054\% / ^\circ\text{C}$
温度补偿范围: $21^\circ\text{C} \sim 77^\circ\text{C}$
使用温度 $-40^\circ\text{C} \sim 121^\circ\text{C}$
零 位 (21°C) $\pm 3\% \text{ FS}$

日本アイシー公司推出的极细型热电偶,封装后的外径仅为 0.25 mm 。热电偶和外壳间用高纯的氧化镁粉。它有以下特点:①响应速度特别快,②柔软可以弯成 $\varnothing 0.5 \text{ mm}$ 的曲度,③坏了可以削掉再生。

日本光进商事贩卖的瑞士ETA公司的Z切水晶温度传感器只有 $\varnothing 1.5 \times 5.6 \text{ mm}$ 大小,它可以将温度转换成频率输出,具有省电、耐冲击、稳定、便宜等特点。

2、向高精度方向发展

现在的压力传感器一般非线性都小于千分之五,经过补偿的温度漂移可达到万分之几。横河航空电机公司利用新的原理开发了一种圆筒振动式精密压力传感器,导入到很薄的薄壁圆筒内的气体压力可以改变圆筒的固有频率,因此可以把压力变成频率信号输出。这样的传感器可以测量空气或与空气比重相近的气体的压力,其分辨率为 0.001% 。

3、向高可靠、长寿命方向发展

日本传感器工业界在初期也遇到了可靠性的问题。比如日本早就使用传感器予防火灾了,但由于分辨率方面的问题,常引起误报、错报、因此管理人员关掉了予警系统,因而引起几起大火。现在的日本红外线非接触型温度传感器可以连续使用一年其性能也不退化,所以扭转了传感器在人们心目中的印象。

其它方面的传感器也突破了这方面的难关,现在的压力传感器年稳定性已达到了 $0.1\% / \text{年}$ 。

芝浦电子的热敏电阻经高温存贮7000小时变化仅是 0.12% 。

现在的生物传感器在长期稳定性上也取得了较大进展,松下电工研制的高灵敏葡萄糖传感器可以在干燥气氛中保存二年,在医院里进行检测时,以20秒的间隔放入试样中反复2000次其灵敏度也未见下降。取得这样明显进步的主要原因可以认为如下:

- ① 不断提高原材料的纯度
- ② 对制造工艺的环境控制及对每个环节的严格质量管理。
- ③ 对器件封装技术及元件的保护技术的飞跃发展。
- ④ 技术人员在设计、制造工艺上长期研究,实践而积累的丰富经验,即国外所说的技术诀窍。

⑤ 制造设备的不断更新换代。

4、向两端扩展量程的传感器

展览会展出的KULITE公司的半导体加速度传感器量程可达 $\pm 2000G$ ，冲击型加速度计可达 $\pm 100KG$ 。其性能如下：

型 号	GA—813	GS—500
最大加速度	$\pm 2000G$	$\pm 100KG$
灵敏度mv/G	0.15	0.0013
过 载	$\pm 6.000G$	$\pm 100KG$
共振频率	6.000Hz	125KHz
电桥电压		10VDC/AC
非线性		$\pm 1\%FS_{max}$
横向灵敏度		3%max
使用温度		28~82℃
温 漂		$\pm 4mv/55℃$

日本的三汁工程中心用硅材料制造的P315V型风压计，可以从0.05mmH₂O微风压测起，满量程输出为10VFS，外形尺寸为15×45mm。

5、扩大传感器的使用温度范围

日本TE、AC公司展出的美国KULITE公司利用硅膜片制做的宽温型压力传感器使用温度为25°~235℃，型号为LE—125，XTE—190，XCE—093等，后者的性能如下：

型 号	XCE—093
量程 (kg/cm ²)	1.7、3.5、7.0、17
输出 (mv)	50、100
零位 (最大)	$\pm 5\%$
非线性 (最大)	0.5%
重复精度 (")	0.25%
使用温度	23~235℃
容许温度	-55~275℃
灵敏度温漂	10%/210℃
零点温漂	20%/210℃

6、向复合传感器即多功能方向发展

将不同功能的传感器做在一起，这也是集成化的一个方向。现在主要产品是附加温度的功能，比如东芝公司推出的将压力和温度传感器集成在一起的测试仪，采用数字显示，体积小携带方便。千野制作所与宝工业都制造出温湿度测试仪，所测温度范围均为一般生活温度。宝工业所生产的产品其探头具有互换性。不仅如此，现在的生物传感器也亦向多功能方向发展，如日本电气已将葡萄糖敏感膜、尿素敏感膜、钾离子敏感膜集成在一起，同时还集成一个作为参照用的蛋白敏感膜以完成多功能测试。

7、传感器向仪器仪表方向发展

我们从传感器要览中所登载的51个产品看元件、仪器、系统之间的比例如下表：

总 数	元 件	仪 器	系 统	其 它
51	16	22	7	6
100%	31%	43%	14%	12%

从上表可以看出各公司多把自己的元件装配成二次仪表出售，我们参观过的安立、东芝、芝浦等公司也是这样。在传感器向仪器仪表方向发展上应注意以下问题

- ①在发展缓慢的领域，要进一步提高仪器仪表的性能，增加其使用价值。
- ②进一步降低仪器仪表的成本
- ③应抓住市场的动向尽快研制新的品种。

8、传感器积极向民用方向发展

①日本民用传感器的产值从1978年的132亿日元增长到1984年的640亿日元，每年的增长速率为30%。

②为了使用方便新光电子将大电子秤和小电子秤合为一体，最大重量可称到50公斤，小重量的精度可达60万分之一。

③日本已将彩色传感器用于茶叶筛选机，识别由机械采来茶叶中混有的木茎。

④现在FA(工厂自动化)已经成熟，OA(办公室自动化)已趋普及，HA(家庭自动化)正在兴起，因此传感器在民用的前途是非常广阔的。东芝公司将传感器和计算机相结合制造了一套干家务活的机器人系统，可以开门、开关电灯、空调、扫地等多种家务活。

六、几点体会

1、最近几年，我国传感器技术发展很快，特别是对于那些常用的传感器生产厂家较多，数量也不少，已基本解决了“有”的问题，进一步的问题是解决“质”的问题。这里需要扎实的工作，深入仔细地研究，各个方面的配合，研究所应当首先承担这个重任。

2、需要尽快将计算机技术引入传感器的研究，生产中。计算机不仅是传感器的后续系统，计算机技术也是设计、生产、管理、标定为重要技术手段，为了尽快地把我们的传感器搞上去，必须采用最先进的技术来武装。

3、不仅需要传感器的体系化，而且要尽快地实现传感器的科研生产单位的体系化，只有将传感器的科研生产单位体系化才能避免重复性的开发研制，从而能集中力量，统一规划，在科研上突破基础理论，基础工艺上的困难，在生产上解决一致性，可靠性，稳定性等问题。

4、下力量解决传感器的应用问题。用传感器——计算机这一套电子体系来取代过去的机械系统，人力系统，将遇到心理上的，资金上的，时间上的，工程上的，传统上的等很多障碍，为要克服这些障碍，必须将传感器生产与应用放在一个体系之内来抓，尽量为用户提供方便，才有可能尽快的突破这些障碍，尽快的普及电子技术。

传感器及其应用技术赴美考察报告

王 洪 业

摘 要 本文介绍了美国传感器技术的一般情况、技术发展动向及国内技术差距,提出了发展我国传感器技术的若干建议。

一、前 言

应B+F公司总裁尤金·弗朗克的邀请,湖南省传感器及其应用技术考察团一行(团长为省科委副主任张启人),于一九八五年二月二日至二十一日对美国进行考察。共参观考察七家生产应变、电感、压电、半导体等传感器厂家(Lebow、Celeasco、Indikon、Monarch、PMC/BETA、Entran及PSI)及二家生产与传感器配套的计算机数据采集系统厂家(Acurex及Neff),受到了热情的接待与安排。通过听取情况介绍、阅读技术资料、现场参观及技术座谈等活动,对于美国传感器技术一般水平,应用状态,典型产品的结构、工艺、性能与发展动向有了进一步的了解。此外,考察期间还就引进国外产品的方式与项目与美方进行了初步洽谈。这次考察时间虽然较短,但百闻不如一见,收获是很大的:不仅掌握了一些通常所不能掌握的情况,找到了国内、省内的差距,而且受到了启发,增强了信心。考察的成果将为我省进一步发展自动化技术,推广应用微机技术和加速工农业经济发展起到应有的促进作用。

二、基 本 情 况

现代计算机的飞速发展,信息处理功能有了巨大的提高,如何发展与电脑——计算机相适应的电五官——传感器,就成为一个迫切的需要。由于传感器直接关系到计算机的应用,因此普遍受到重视,技术水平、发展速度及应用领域日益扩大。通过这次考察,也深深感到作为一门新型综合技术的传感器有广泛的发展前途。

1. 生产厂家不断增加 据统计,八十年代初美国共有生产九种典型工业控制参数(力、压力、应变、温度、速度、流量、位移、加速度及振动)372个大型类别的主要传感器厂家171家,而我们此次所考察的,几乎全不在上述统计之列,而是近几年来取得技术进步发展起来的,发展速度与规模十分迅速。以生产力矩、力与配套仪表近年来开始有名的Lebow公司为例,1984年资金额超过1000万美元(108人)。目前,除在美国国内有33个固定销售点外,产品还远销西德、日本、加拿大、法国等21个国家,占有28个销售点;从1980年后成为具有3亿美元资金Eaton跨国公司的一个分公司。又如靠生产与传感器配套小型数据采集系统的Acurex公司,1984年年销售额已超过5000万美元(700人),亦是一典型例子。此外,根据世界权威性咨询公司(Mackintosh)的预测,1980年到1986年,除将增加15%比例的新型传感器厂外,总产值将增加四倍,达10亿美元