

# 非晶硅和非晶硅靶摄像管

曾 柏 川

**摘要:** 本文首先简要地回顾了非晶半导体的历史和近年来含氢非晶硅膜的迅速进展。接着分析了含氢非晶硅作为电视摄像管靶面的可能性和优点。并且用实际结果证明采用这种靶面的管子具有如下优良的性能: 高分辨率(高于800电视行)、高灵敏度(100nA/lx、700 $\mu$ A/lm)、适合于彩色电视摄像的光谱灵敏度等。最后还提到了尚待解决的问题和讨论了非晶硅靶摄像管实用化的可能性。

## 一、前 言

大约在1948年左右就发现了非晶质半导体。当时虽然未明确说成非晶质(amorphous), 但Schaffert和Oughton确曾首先把非晶质硒用于硒静电复印(Xerograph)<sup>[1]</sup>。1950年RCA公司的Weimer发表了《非晶质Se的光电导》的论文<sup>[2]</sup>, 接着1951年研制成功了以非晶质材料Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>作为靶面的光电导摄像管——Vidicon<sup>[3]</sup>。这种摄像管, 由于价格低廉, 并且其制作技术也不断得到改善而提高了性能, 直到现在还相当广泛应用在工业及家庭中。1955年Kolomets在他发表的论文<sup>[4]</sup>里指出, 被他叫做“Chalcogenide glass”的一群材料具有许多同结晶半导体相类似的性质。例如它们和许多其他玻璃属于离子传导不相同, 具有电子传导性。在电导率与温度的关系方面, 它们和本征半导体同样服从  $\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{KT}\right)$  这样的规律。此外, 它们还具有大的热起电和显著的光电导。但是, 当时Kolomets的掺杂实验没有成功。所以当时认为通过掺杂来控制非晶物质的费米能级是不可能的。1968年Ovshinsky发表了关于Chalcogenide glass 的存储开关(memory switch)现象的论文<sup>[5]</sup>, 引起学者们的普遍兴趣。1973年日本研制出以非晶质Se为基础的Se—As—Te三元材料的阻挡型靶面光电导摄像管——Saticon, 并使之实用化, 现在已广泛用于广播、工业及家庭电视中, 并且成为第一代高品位电视用摄像管。1975年Spear等人发现, 用辉光放电使硅烷(SiH<sub>4</sub>)分解, 淀积所得的含氢非晶质硅膜(在以下的叙述中, 含氢二字略去) 具有很低的局部能级密度。接着又证实了对这种膜可以实现价电子控制<sup>[6,7,8]</sup>。也就是说, 非晶质硅可以在形成的过程中根据掺杂的相异而成为n型或p型, 其电导率也可以变化十个数量级以上。这是和结晶半导体同样具有价值的特性。这个划时代的重要发现, 给非晶质半导体的研究带来了新的动力, 非晶质半导体的应用和物性方面的研究日益活跃。其中最为引人注目的是在非晶硅研究工作上的飞跃进展。而随着非晶硅膜物性研究的进展及其制作技术的不断改进, 它的应用范围也日益扩大。除了众所周知的非晶硅太阳能电池(从目前情况看, 这是大规模实现太阳能发电的重要途径)外, 非晶硅膜在摄像器件方面的应用、在电子复印感光膜方面的应用、在场效应晶体管

方面的应用、在液晶显示器件方面的应用等，都有显著的进展。

## 二、非晶硅膜用作摄像管靶面的可能性和优点

从光导摄像管的工作原理考虑，其靶面应当满足下面的条件：

1. 具有高的暗电阻率，从分辨率以及能够实现积累方式工作来估计，一般要求  $\rho > 10^{11} \sim 10^{12} \Omega \text{cm}$ 。
2. 具有良好的光吸收率和高光电导率。
3. 膜具有适当的电容量，从电容惰性以及S/N比来考虑，一般要求  $3\text{nF} > C > 0.6\text{nF}$ 。
4. 具有适用的光谱特性。如用于彩色电视摄像，则对可见光的各个波段都应有好的响应。
5. 靶面对于光照、温度及电子束的扫描，均有足够的稳定性。
6. 为使光电导惰性小到不易为人眼觉察的程度，靶面对脉冲光要有足够快的反应速度。

非晶硅膜的光学禁带宽度一般说来在1.6~2.0eV之间（随制作条件而略有变化），对可见光具有高的光电导，并基本具备上述各项条件。因此，它作为光导摄像管的靶面是完全可能的。特别是由于其电导的类型（*p*或*n*型）可以在膜形成的过程中连续进行控制，这对于制作阻挡型的靶面是一个相当大的优点。另外，因为是非晶质，没有在结晶性膜里容易产生入射光和光生载流子的散射现象。所以，和结晶性靶相比，分辨率可以高得多。还有，由于非晶硅膜对红外线不灵敏，它作为彩色摄像用时无需红外滤光片，这也是方便的。

## 三、非晶硅膜的淀积

非晶硅膜的形成方法，一般有辉光放电法、溅射法、热分解法和离子化蒸涂法等几种。但作为主流，还是辉光放电法。此法的要点是：使 $\text{SiH}_4$ 气体在直流高压或高频辉光放电中分解而在基板（通常保持在200~300℃）上淀积出非晶硅膜。其特点是：在 $\text{SiH}_4$ 气体中添加微量的乙硼烷（ $\text{B}_2\text{H}_6$ ）气体或磷化氢（ $\text{PH}_3$ ）气体，可以容易控制所形成的非晶硅膜的电导类型（*p*型或*n*型）及其导电率。而且在适当条件下所形成的膜与其他方法比较，具有最少的缺陷能级密度。

我们先后采用两套辉光放电装置淀积非晶硅膜。一套是玻璃结构装置，一套是全金属结构装置，均淀积出比较满意的非晶硅膜。具体工艺条件分别为：玻璃结构，RF频率为400kHz，放电的气体压强约为1Torr，气体流量约10ml/min；全金属结构，RF频率为13.56MHz，放电的气体压强约为0.06~0.07Torr，气体流量约25~30ml/min。

## 四、阻挡型靶面的形成

理论和实测结果都表明，非晶硅的本征层具有高的暗电阻率—— $10^{11} \sim 10^{13} \Omega \text{cm}$ 。这对于用作光导摄像管的靶面，已进入可以适用的领域。但在非晶硅膜的情况，一般膜厚只有几个微米，若要加上几十伏的靶压而使暗电流只有几个nA，大致估算，膜的暗电阻率必须是 $10^{13} \sim 10^{14} \Omega \text{cm}$ 。因此若仅依靠暗电阻来限制暗电流，则还要使膜的暗电阻率

再提高一个数量级。否则就不得不考虑在构成靶面时，使靶面具有阻挡型结构。具体来说，就是在透明导电电极和非晶硅膜之间要有一个壁垒来阻挡空穴的注入，而在同电子束相接触的那一侧则要有一个阻挡电子进入的壁垒。

为了形成对空穴具有阻挡作用的壁垒，我们采用了二种类型的构造。一种类型是在淀积形成非晶硅膜的初期导入适量的 $\text{PH}_3$ ，以形成一个磷掺杂的薄 $n^+$ 层。这个 $n^+$ 层的厚度以及磷的掺杂量是易于控制的，一般厚度为 $20\sim 50\text{nm}$ 。形成这个 $n^+$ 层时 $\text{PH}_3$ 和 $\text{SiH}_4$ 的体积比大约为 $3\sim 5\times 10^{-4}$ 。在这样的条件下形成的 $n^+$ 层对空穴具有明显的阻挡作用，能防止空穴从透明电极注入。它对于电子则不起阻挡作用，由光照在膜中所产生的光电子可以自由地通过这个 $n^+$ 层而达到透明导电电极。另一种类型是采用MIS(Metal-Insulator-Semiconductor)结构<sup>[9]</sup>。即在淀积非晶硅膜之前，在 $\text{SiH}_4$ 和 $\text{N}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 的混合气体中通过辉光放电先形成一薄层非晶氮化硅膜，以此来形成空穴阻挡壁垒。

为在电子束扫描一侧形成阻挡电子注入的壁垒，我们先后蒸镀了 $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 和 $\text{CeO}_2$ 两类薄膜。这一层的作用是阻挡来自电子束的电子注入，却让由光激励产生的空穴通过而达到扫描面，以便使它在扫描面上与来自电子束的电子复合。此外，还要求在一帧的周期内，在此面上的积累电荷要保持原样而不扩散。属于硫属化物类的 $p$ 型半导体具有这个性质（例如 $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 等），但它们耐热性较差。对于在较高环境温度下工作， $\text{CeO}_2$ 层要更好一些。我们采用 $70\text{nm}$ 左右厚度的 $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 或 $30\text{nm}$ 左右厚度的 $\text{CeO}_2$ ，先后制作了四种类型阻挡型靶面（见图1），各种靶面的 $I-V$ 特性如图2所示。

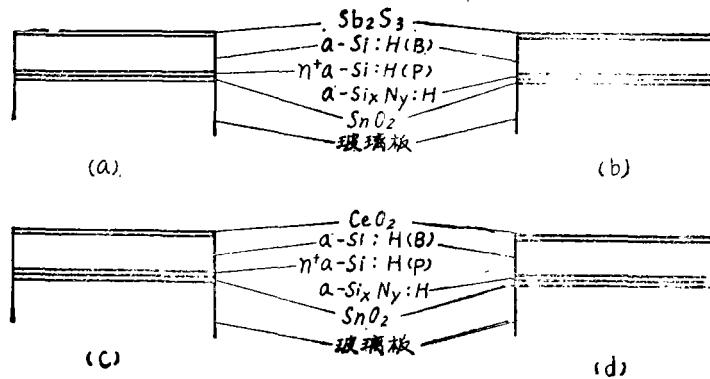


图1 四种类型阻挡型靶面截面图

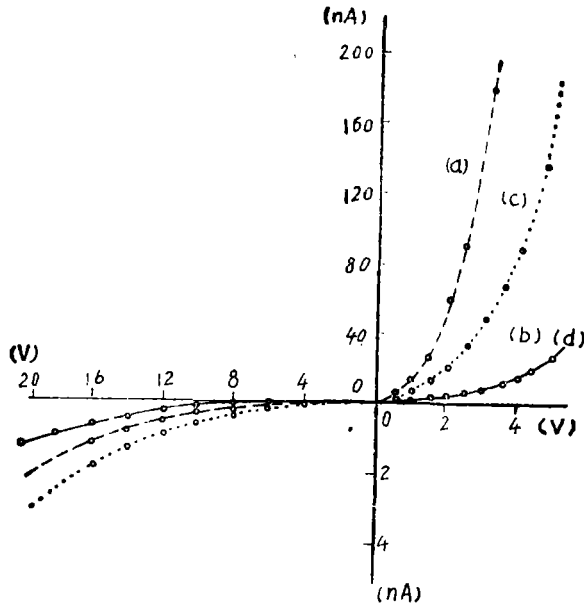


图2 四种类型靶面的I—V特性

### 五、非晶硅靶摄像管的性能

我们用上述各种类型的靶面和1 in的Vidicon所用分离栅网的电子枪组装成摄像管，得到了比较满意的实验结果。

图3所示是一个典型管子的靶流靶压特性。以摄像管靶面上的照度作为参数。由图可明显看出，在靶压大约10V左右时，光电流呈现出饱和状态，这可以理解为这个靶面具有良好的阻挡特性。

图4所示是该管的光电流靶面照度特性。入射光源是2856K的标准电灯。扫描面积是 $9.5 \times 12.7 \text{mm}^2$ 。在1lx的光照下，光电流约为100nA，相当于具有 $700 \mu\text{A}/\text{lm}$ 的灵敏度。光电流对于光量的转换指数约等于1，这可以理解为光生载流子（空穴和电子）在电场的作用下很好地分离，并在膜中顺利输送的结果。

图5所示是靶面的光谱特性。黑点表示对于等能量单色光的相对光电流输出，白点则表示对于等量子数的单色光的光电流输出的相对值。如图所示，这种靶面对红外光不灵敏，而在整个可见光领域具有良好的光谱响应。

管子的实测分辨率在800电视行以上。在初始信号电流为200nA时，遮断光后第三场后的残留信号约为14%。图6是用这种摄像管摄取的人物像。画面上斑点也较少。

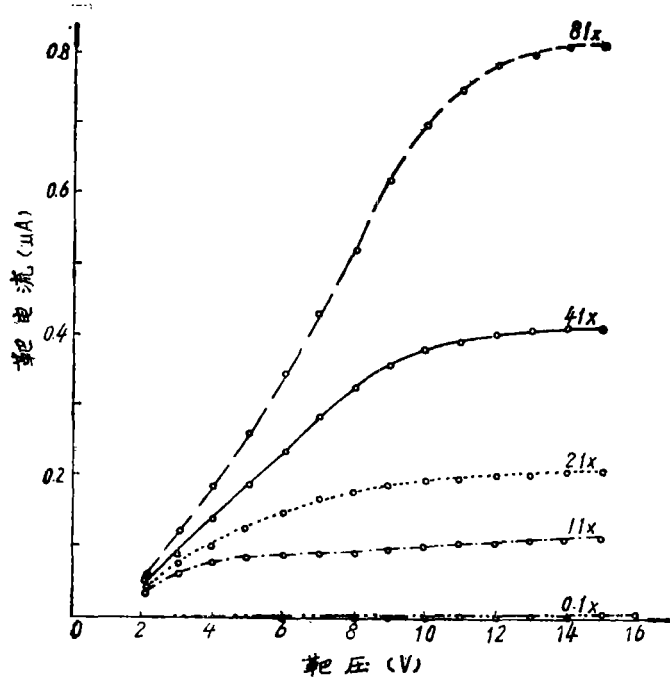


图3 管子靶电流与靶压的关系

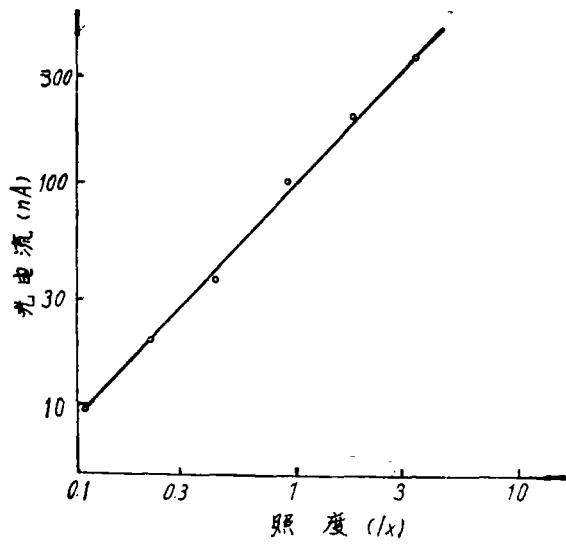


图4 管子靶面光电流与靶面照度的关系

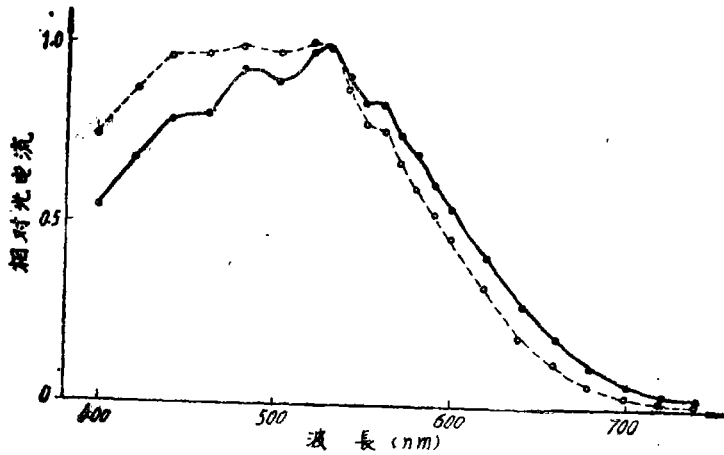


图5 靶面的光谱特性曲线



图6 用非晶硅靶摄像管摄取的人物像

## 六、存在的问题和实用化的可能性

由于非晶硅靶摄像管具有高灵敏度、高分辨率、对可见光有良好的光谱响应以及 $\gamma$ 特性接近于1、基本无烧伤、稳定性好、宜于批量生产等优点，曾引起人们的普遍重视。但直至今日，尚未实用化、商品化。其主要原因是其惰性还较大，要减少到适于广播电视的水平，还要做若干努力。实测与理论分析均表明，惰性的主要成分是电容性惰性。由于非晶硅膜的介电常数较大，其 $\epsilon$ 约为12~13。若假定膜厚为 $3\mu\text{m}$ ，暗电流为 $1\text{nA}$ ，则可计算出 $1\text{in}$ 非晶硅靶摄像管的电容惰性为11%左右<sup>[10]</sup>。若采取有效措施来减少电容惰性，如适当增加靶面厚度，减小靶面扫描面积、利用偏置光照射靶面、用电子束等效阻抗低的二电极电子枪来取代现用的三电极电子枪等，电容惰性可望大幅度降低。因此，随着非晶硅膜制作工艺的不断改善，完全有可能使这种管子总的惰性达到广播电视的要求，从而实现其实用化和商品化。

本文所述非晶硅靶摄像管的实验研究，是在日本静岡大学电子工学研究所进行的。这期间，曾得到安藤隆男教授、畑中義式副教授的指导和帮助，在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] R.M.Schaffert and C.D.Oughton, Xerography, A New principle of Photography and Graphic Reproduction, J.Opt.Soc.America, 1948, 38, 12, 991~998.
- [2] P.K.Weimer, Photo-Conductivity in Amorphous Selenium, phys. Rev., 1950, 79, 171.
- [3] S.V.Forgue et al., Properties of Some photoconductors, Principally Antimony Trisulfide, RCA Rev., 1951, 12, 3, 335~349.
- [4] N.A.Goryunova and B.T.Kolomiets, Conductivity of Chalcogenide Glass, J.Tech, Phys., 1955, 25, 984~988.
- [5] S.R.Ovshinsky, Reversible Electrical Switching Phenomena in Disordered Structures. Phys.Rev.Lett., 1968, 21, 1450~1453.
- [6] W.E.Spear and P.G.Le Comber, Substitutional Doping of Amorphous Silicon, Solid State Commun., 1975, 17, 9, 1193~1196.
- [7] W.E.Spear and P.G.Le Comber, Electronic properties of substitutionally doped amorphous Si and Ge, Phil.Mag., 1976, 33, 6, 935~949.
- [8] W.E.Spear et al., Amorphous silicon p-n junction, Appl. Phys. Letters, 1976, 28, 2, 105~107.
- [9] 曾・畑中, a-Si:H 膜のMIS接合における絶縁層の性質, 日本国第30回応用物理講演大会論文集 1983, 334.
- [10] 吉田・木内, ビジコンの容量性残像の計算, テレビジョン, 1970, 24, 1, 20~28.

## Amorphous Silicon and Amorphous Silicon Camera Tube

Zeng Baichuan

### Abstract

This paper firstly gives a brief review about the history of amorphous semiconductor and the rapid progress in hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) film in recent years. Following that, the possibility and advantage of a-Si:H film to be applied to the target of TV camera tube are shown. It has been demonstrated that the TV camera tube using the a-Si:H film target have prospective performances, such as high resolution (more than 800 TV Lines), high sensitivity ( $100\text{nA/lx}$ ,  $700\mu\text{A/lm}$ ), favorable spectral response for colour TV. At last, the unsolved problem is mentioned and the practical possibility for the use of the a-Si:H camera tube is discussed.