

# (p)nc-Si H/(n)c-Si 异质结变容二极管\*

韦文生<sup>1,2</sup> 王天民<sup>1</sup> 张春熹<sup>2</sup> 李国华<sup>3</sup> 卢励吾<sup>3</sup>

(1 北京航空航天大学理学院 材料物理与化学研究中心, 北京 100083)

(2 北京航空航天大学光电技术研究所, 北京 100083)

(3 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

**摘要:** 采用等离子体增强化学气相沉积技术和电子束蒸发技术制备了一种新型的线性缓变异质结变容二极管——Au/Cr 合金(电极)/multi-layer(p)nc-Si H/(n)c-Si/(电极)Au/Ge 合金结构.  $I-V$ ,  $C-V$ ,  $C-f$  以及 DLTS 的测试结果表明:其电容变化系数远大于单晶硅线性缓变异质结的电容变化系数,正向导电机制符合隧穿辅助辐射-复合模型,这是 nc-Si H 层中 nc-Si 晶粒的量子效应所致;反向电流主要由异质结中空间电荷区的产生电流决定,且反向漏电流小,反向击穿电压高,表现出较好的整流特性.

**关键词:** (p)nc-Si H 薄膜; (p)nc-Si H/(n)c-Si 异质结; 变容二极管

**PACC:** 7355; 7340L

**中图分类号:** O475 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2005)04-0745-06

## 1 引言

采用等离子体增强化学气相沉积(PECVD)技术制备的 nc-Si H (hydrogenated nanocrystalline silicon) 薄膜,因其中的纳米硅晶粒(nc-Si)具有量子尺寸效应,在室温及低温下可观测到高电导和可见光发射等现象<sup>[1,2]</sup>,具备了单晶硅、多晶硅、非晶硅(amorphous silicon, a-Si)薄膜所没有的优良性能,开辟了硅基低维材料研究的新领域. nc-Si H/c-Si 异质结构在太阳能电池、隧道二极管、异质结二极管等器件方面的研究颇受关注<sup>[3~5]</sup>,它克服了 a-Si H 器件因为材料本身的隙态密度高而导致载流子迁移率低带来的缺点. a-Si H/金属 Schottky 结, a-Si H/c-Si 和 nc-Si H/c-Si 突变结已有不少报道<sup>[3,5]</sup>,这些器件适合于低压下工作,适用于通常的光刻工艺,是将来应用于立体化集成电路的基础.但由于结中的载流子浓度梯度难以控制,因而研制类似线性缓变结的工作很少报道.本文采用 PECVD 和电子

束蒸发技术制备了(Au/Cr)合金/(p)nc-Si H/(n)c-Si/(Au/Ge)合金结构,其中 nc-Si H 层的载流子浓度梯度逐步提高.应用  $I-V$ ,  $C-V$ ,  $C-f$ , DLTS 等技术对其性能进行了表征,结果表明:这是一种线性缓变异质结二极管,是一种新型的 nc-Si H 薄膜器件.因为 nc-Si H 薄膜中 nc-Si 晶粒的量子效应,它具有电容变化系数大、整流特性好等优点.

## 2 实验

在(n)c-Si(平均电阻率为  $0.5 \sim 1.0 \Omega \cdot \text{cm}$ ,  $N_d = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )衬底上先使用平面工艺技术生成 500nm 厚的  $\text{SiO}_2$  层,并在上面刻成系列  $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$  深 500nm 的小窗口,然后采用 13.56MHz 电容耦合式射频(RF)与直流(DC)偏压双重激励的 VHF-PECVD 系统,以高纯氢气稀释硅烷( $\text{SiH}_4$ )作反应气,辅以乙硼烷( $\text{B}_2\text{H}_6$ )作掺杂气在适当的工艺条件下(主要工艺参数范围是:射频功率  $0.35 \sim 0.75 \text{ W/cm}^2$ ,反应室气压  $100 \sim 133 \text{ Pa}$ ,衬底温度

\*国家高技术研究发展计划,教育部高校博士点基金(批准号:200220006037),国家自然科学基金(批准号:60276012)和北京航空航天大学博士生基础性研究基金资助项目

韦文生 男,1966 年出生,副教授,博士研究生,主要研究兴趣是低维半导体材料的微结构、光电特性及其光电集成.

2004-04-21 收到,2004-10-18 定稿

©2005 中国电子学会

420 ~ 550 K, 直流偏压 - 120 ~ - 250 V, 硅烷稀释比 0.4 ~ 1.0 vol %, 气体流量 25 ~ 100 sccm (标准立方厘米每分钟). 沉积掺硼浓度 ( $B_2H_6/SiH_4$ ) 逐渐增加的数层 (每层厚约  $5.0 \times 10^{-8}$  m) 的 (p) nc-Si:H 薄膜. 分别制备了三种样管: 每个样管的衬底相同, 而第一层 nc-Si:H 层的掺硼浓度增加, 以后各层的掺硼浓度梯度增大, 如表 1 所示.

表 1 (p) nc-Si:H/(n) c-Si 的参数

Table 1 Parameters of (p) nc-Si:H/(n) c-Si

| 样管号 | 衬底  | 第一层<br>nc-Si:H 的<br>掺硼浓度<br>/ vol % | 每层递增的<br>掺硼浓度<br>/ vol % | 层数 | 层厚<br>/ nm |
|-----|---|-------------------------------------|--------------------------|----|------------|
| 1   | (n) c-Si<br>$N_d = 2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ | $0 \pm 0.00$                        | $0.1 \pm 0.05$           | 8  | 50         |
| 2   | (n) c-Si<br>$N_d = 2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ | $0.30 \pm 0.05$                     | $0.2 \pm 0.05$           | 8  | 50         |
| 3   | (n) c-Si<br>$N_d = 2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ | $0.50 \pm 0.05$                     | $0.3 \pm 0.05$           | 8  | 50         |

分别在 (p) nc-Si:H/(n) c-Si 的两面用电子束蒸发技术镀上欧姆接触的 Au/Cr, Au/Ge 合金电极, 得到金属/(p) nc-Si:H/(n) c-Si/金属结构, 如图 1 所示. 掺硼 nc-Si:H/c-Si 界面的高分辨透射电镜 (HRTEM) 像如图 2 所示, 其中 nc-Si 约 5.0 ~ 10.0 nm. 通过俄歇电子谱和共振核反应技术得到<sup>[6]</sup>: 薄膜中 Si, B 原子是均匀分布的, H 含量随着掺硼的增加而减少. 用 HP4140B (PA Meter/DC Voltage Source) 测试了该结构的  $I-V$  曲线. 在不同温度下用 HP4280A (Precision LCR Meter) 以 1 MHz 的频率测试了该结构的  $C-V$  曲线. 利用 HP4274A 与 HP4275A (Multi-Frequency LCR Meter) 及振幅为 0.05 V 的交流信号电压在室温下测试了该结构的  $C-f$  曲线. 采用温度 (77 ~ 400 K) 扫描方式, 在反向电压为 -1 V, 正向脉冲电压为 0 V 的条件下对该异质结进行深能级瞬态谱 (DLTS) 测量. DLTS 反映了电子或空穴从深能级的发射过程, 是对隙态密度比较直接的测量; 它不同于热激电流谱法, 受界面态的影响很小, 所测的是体内效应. 势垒区的能带弯曲对 DLTS 的影响, 远远小于对场效应法测量的影响程度, 因而对实验数据的分析比较简洁.

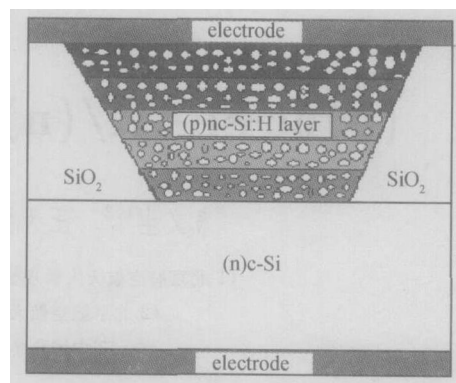


图 1 电极/(p) nc-Si:H/(n) c-Si/电极结构

Fig. 1 Schematic structure of electrode/(p) nc-Si:H/(n) c-Si/electrode

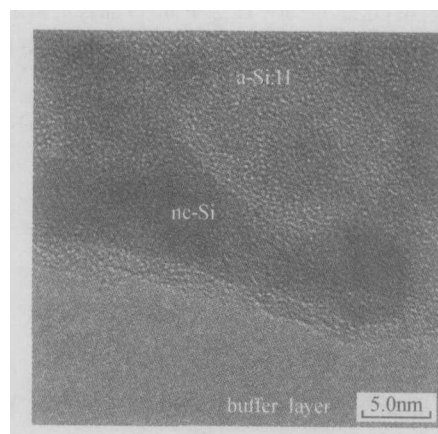


图 2 掺硼 nc-Si:H/c-Si 界面的高分辨透射电镜像

Fig. 2 HRTEM image of cross section of boron doped nc-Si:H/c-Si

## 3 结果与讨论

### 3.1 正向 $I-V$ 特性

如图 3 所示, 所测的  $I-V$  关系曲线显示了半导体二极管的特征, 表明金属/(p) nc-Si:H/(n) c-Si/金属的结构为二极管. nc-Si:H 薄膜是具有 nc-Si 和大量晶粒间非晶界面所构成的材料. nc-Si 属晶态结构, 因此 nc-Si:H 薄膜的物理特性具有一些晶态硅的特征, 薄膜中 nc-Si 具有自然量子点的特征, 但分布无规则, 使得大量的非晶界面又具有不同的结构和键合特征. 因此, nc-Si:H 薄膜的电传导机制已不完全等同于体材料 (晶态或非晶态), 必须考虑异质结量子点隧穿机制<sup>[1]</sup>. 正向偏置时, 根据  $I-V$  曲线的特征, 此二极管的电输运机制可用载流子在耗尽层内的隧穿辅助辐射-复合模型来解释<sup>[5]</sup>. 其正向

电流密度  $J(=I/A, A$  为结面积)符合:

$$J = \exp[-(E_T - E_V)/kT][\exp(V) - 1] \quad (1)$$

式中  $E_T$  为陷阱能级;  $E_V$  为价带能级;  $k$  为 Boltzmann 常数;  $T$  为绝对温度; 是与温度无关的常数.

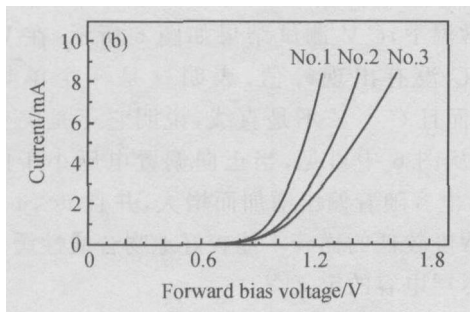
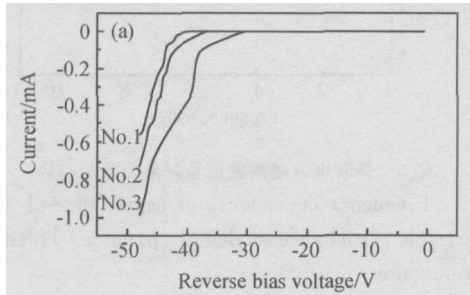


图 3 300K 时 3 个样管的  $I-V$  曲线 (a) 反向  $I-V$ ; (b) 正向  $I-V$

Fig.3 Relation of  $I-V$  of three samples at 300 K (a) Backward relation of  $I-V$ ; (b) Forward relation of  $I-V$

nc-Si H 层本身的电输运机制包括热激发辅助的电子共振隧穿<sup>[1]</sup> ( $> 100K$ ) 以及在  $20K < T < 100K$  范围内费米能级最近邻的定域态之间的 Hopping 传导<sup>[7]</sup>, 而正向偏置时 (p)nc-Si H/(n)c-Si 二极管的输运机制是两种载流子的隧穿辅助辐射-复合过程. 两者并不矛盾, 虽然 nc-Si H 层的电输运过程是由单一载流子——电子(或空穴)决定, 但是纳米硅晶粒之间的距离很小, 使隧穿成为可能. 在 (p)nc-Si H/(n)c-Si 异质结中同时存在电子和空穴两种载流子, 并且 nc-Si H 层内纳米硅晶粒之间的晶界区中大量的缺陷态提供了复合中心. 这是 nc-Si H 层与 (p)nc-Si H/(n)c-Si 异质结的电输运机制不同的根本原因.

对比图 3 与图 4, 样管 1 在 77K 和 300K 的  $I-V$  曲线的形状几乎相同, 即此二极管的导电机制与温度无关, 这是隧穿机制的反映<sup>[5]</sup>. 但是, 正向  $I-V$  曲线中相同电压时样管 1 在 77K 下的导通电流比 300K 下的小了近一个数量级, 这是由低温下热激发的载流子辐射-复合显著减弱所致.

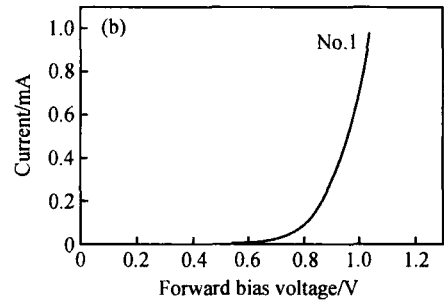
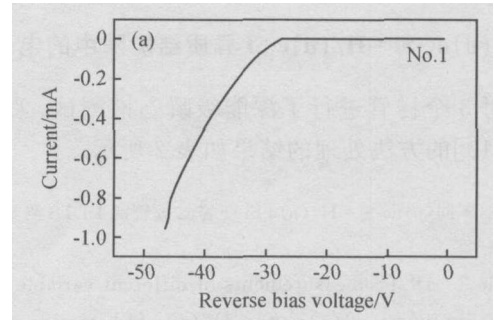


图 4 77K 时样管 1 的  $I-V$  曲线 (a) 反向  $I-V$ ; (b) 正向  $I-V$   
Fig.4 Relation of  $I-V$  of sample No. 1 at 77 K (a) Backward relation of  $I-V$ ; (b) Forward relation of  $I-V$

### 3.2 反向 $I-V$ 特性

图 3(a) 中, 二极管室温下的反向漏电流仅为几个 nA, 反向击穿电压达 30V 以上, 在  $V = \pm 1V$  时整流比  $(I_+/I_-)$  达到  $10^4$  量级, 表现出较好的整流特性. 反向电流主要由 (p)nc-Si H/(n)c-Si 异质结中空间电荷区的产生电流决定<sup>[5]</sup>.

根据文献[8], 反向电流  $J_R$  可以用中性区的扩散电流  $J_d$  和耗尽区的产生电流  $J_g$  之和来近似:

$$J_R = J_d + J_g = J_d + \frac{qn_i W}{\tau_g} \quad (2)$$

式中  $q$  是电子电荷;  $n_i$  是本征载流子浓度;  $W$  是耗尽层宽度;  $\tau_g$  是载流子的产生寿命. 在反向偏置情况下, 反向偏压  $V_R = -V$ , 当  $V_R \gg V_{bi}$  时有:

$$J_R = J_d + \frac{qn_i \tau_g}{\tau_g} \sqrt[3]{V_R} \quad (3)$$

从图 3(a) 可见,  $J_d$  非常小基本可以忽略, 得到  $J_R \propto \sqrt[3]{V_R}$ , 说明反向电流  $J_R$  中耗尽区的产生电流  $J_g$  起支配作用. 正因为如此, 反向  $I-V$  曲线中相同电压下样管 1 在 77K 的反向漏电流与 300K 的几乎相等. 这是因为反向偏置时产生中心远离本征费米能级, 对产生寿命  $\tau_g$  及产生电流  $J_g$  的贡献十分微弱, 受温度的影响可以忽略, 如图 3(a) 及图 4(a) 所示.

### 3.3 (p)nc-Si H/(n)c-Si 异质结能隙中的电子态

对 3 个样管进行了深能级瞬态谱测试,采用文献[9,10]的方法处理的结果如表 2 所示.

表 2 不同(p)nc-Si H/(n)c-Si 变容二极管的 DLTS 测量结果

Table 2 DLTS measurements of different variable capacitance diodes of (p)nc-Si H/(n)c-Si heterojunction

| 样管号 | 深能级位置 $E_T/eV$          | 俘获截面 $\sigma/cm^2$              | 陷阱浓度 $N_T/cm^{-3}$      |
|-----|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1   | $(E_V + 0.23) \pm 0.01$ | $(8.2 \pm 0.2) \times 10^{-15}$ | $(0.020 \pm 0.002) N_d$ |
| 2   | $(E_V + 0.60) \pm 0.01$ | $(5.8 \pm 0.2) \times 10^{-16}$ | $(0.022 \pm 0.002) N_d$ |
| 3   | $(E_V + 0.61) \pm 0.01$ | $(5.1 \pm 0.2) \times 10^{-16}$ | $(0.066 \pm 0.002) N_d$ |

表 2 表明了 (p)nc-Si H/(n)c-Si 中陷阱能级的存在. 样管 1 的陷阱能级位于价带顶 0.23eV 处,是由弱的 Si—Si 键所致,属于带尾定域态<sup>[11]</sup>. 因为样管 1 的最内层 nc-Si H 膜不掺硼,nc-Si H/c-Si 的界面没有明显的过渡层<sup>[1]</sup>,弱 Si—Si 键的存在是合理的. 但对最内层 nc-Si H 膜掺硼的样管 2 和样管 3 则不然,nc-Si H/c-Si 的界面有明显的过渡层,如图 2 所示,它们的陷阱能级位置分别在价带顶 0.60 和 0.61eV 处,是过渡层中非晶无序网络 Si-H 的缺陷定域态所致<sup>[11]</sup>,而且非晶成分随着掺杂浓度的增加而增多<sup>[3,7]</sup>,所以陷阱能级位置加深,浓度增加,如表 2 所示.

异质结势垒电容与耗尽层的有效空间电荷密度 ( $n_b$ ) 的关系可表示为<sup>[12]</sup>:

$$C = k k_0 (n_b) / [2 k k_0 (n_b) d]^{1/2} \quad (4)$$

式中  $k$  为结材料的介电常数,取  $k = 11.9$  (硅的介电常数);  $k_0$  是真空介电常数;积分上限  $s$  是势垒总高度,即求整个势垒的有效空间电荷密度. 只有那些在发射时间  $\tau$  时可改变其占有状态的 Fermi 能级附近的深缺陷态对耗尽层的 ( $n_b$ ) 有贡献,即对  $C$  有贡献. 随着小交流信号频率  $f$  的增大,脉冲电压扫描的时间越来越短,带隙中处于深能级的受主缺陷态的响应时间——发射时间  $\tau$  越来越短,越来越小,因此电容  $C$  减小. 当  $\tau \rightarrow 0$  时,只有浅能级的受主缺陷态能够响应而深能级的空穴占有态无法响应,所以  $C$  趋于一定,电容  $C$  趋于一定,如图 5 所示. 表 2 中,  $N_{T1} < N_{T2} < N_{T3}$ ,所以在低频小交流信号的激发下,样管 1 的电容随频率降低的趋势最慢,样管 2 次之,样管 3 最快,如图 5 所示.

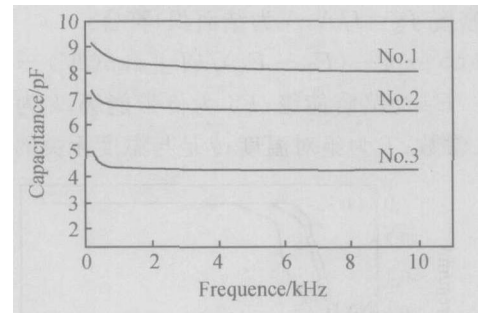


图 5 样管电容随激发信号频率降低的趋势

Fig. 5 Frequency dependence of capacitance of different variable capacitance diodes of (p)nc-Si H/(n)c-Si heterojunction

### 3.4 C-V 特性

常温下,  $C-V$  测试结果如图 6 所示. 在  $V = 0V$  附近,  $C$  没有出现峰值,表明这是一个单势垒结构<sup>[9]</sup>,而且  $C^{-2}-V$  不是直线,说明它不是突变异质结<sup>[8]</sup>. 从图 6 中可见,当正向偏置电压小于内建势  $V_{bi}$  时,电容随着偏压增加而增大,并且 nc-Si H 层掺硼浓度较低的样管 1 能较好地吻合线性缓变异质结耗尽层电容的定义<sup>[8]</sup>:

$$C_j = \frac{s}{w} = l \frac{q^2}{12(V_{bi} - V)} J^{1/3} = C_{j0} (1 - \frac{V}{V_{bi}})^{-1/3} \quad (5)$$

式中  $l$  是杂质浓度梯度;  $s$  是介电常数;  $V_{bi}$  是内建势;  $C_{j0}$  是零偏结电容. 图 7 是样管 1 在不同温度下的  $C^3-V_R$  关系曲线. 从图 7 中易见:当反向偏压值远大于内建势的值时,  $C^3$  近似地与  $V_R$  成正比,根据文献[8]可以推断这是一个线性缓变异质结. 另外,从图 7 中还可以看出,在同一偏压下,电容随温度升高而增大. 这是因为带隙中深缺陷态的载流子在一定频率的脉冲信号作用下的激发随温度升高而快速增强,有效空间电荷密度增加,导致异质结电容的增加所致.

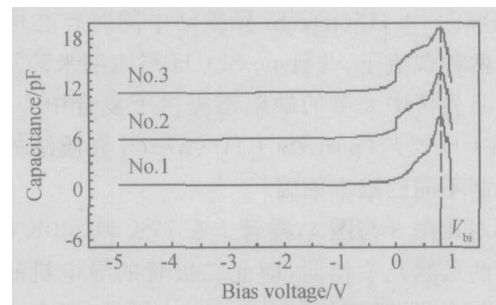


图 6 三个样管常温下的  $C-V$  关系曲线

Fig. 6  $C-V$  curves of three variable capacitance diodes at 300 K

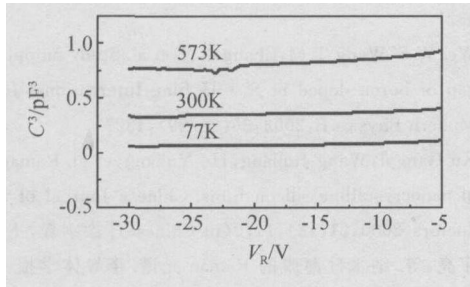


图 7  $V_R \gg V_{bi}$  时样管 1 不同温度下的  $C^3-V_R$  关系曲线

Fig. 7  $C^3-V_R$  curves of No. 1 variable capacitance diode at different temperatures while  $V_R > V_{bi}$

根据电容变化系数 的定义<sup>[13]</sup> :

$$= \frac{C_{max} - C_{min}}{2(C_{max} + C_{min})} \quad (6)$$

式中  $C_{max}$ ,  $C_{min}$  分别是  $C-V$  曲线上电容的最大值和最小值. 由 (6) 式得到三个样管的电容变化系数  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  分别为 0.45, 0.44, 0.42. 即三个样管的电容变化系数远大于单晶硅线性缓变异质结的电容变化系数 (0.167), 这是由异质结的 nc-Si / H 层中存在的 nc-Si 的量子电容效应所致<sup>[14]</sup>. 随着 1, 2, 3 样管中的 nc-Si / H 层掺硼浓度的增加, nc-Si 的平均尺寸 (范围在 5.0 ~ 10.0 nm) 增大<sup>[15,16]</sup>. 本文中 nc-Si / H 薄膜 nc-Si 晶粒的平均尺寸大于 Si 体材料的激子有效 Bohr 半径 (只有 4.3 nm), 因此量子效应随着 nc-Si 晶粒平均尺寸的增大越来越不明显, 所以样管 1, 2, 3 中的电容变化系数依次减小, 即  $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$ .

#### 4 结论

研制了 Au/ Cr 合金欧姆电极/ (p) nc-Si / H (多层)/ (n)c-Si/ Au/ Ge 合金欧姆电极结构, 电学测试结果表明:

(1) 这是一种线性缓变异质结变容二极管, 其电容变化系数远大于单晶硅线性缓变异质结的电容变化系数, 这是由 nc-Si / H 薄膜中 nc-Si 的量子效应所致;

(2) 此二极管的正向导电机理符合隧穿辅助辐射-复合模型, 反向电流主要由异质结中空间电荷区的产生电流决定;

(3) 此二极管的反向漏电流小, 反向击穿电压高, 在  $V = \pm 1V$  时整流比达到  $10^4$  量级, 表现出较好的整流特性.

这是一种新型的 nc-Si / H 薄膜器件, 由于体积

小, 便于实现电路结构的立体化.

致谢 感谢中国科学院物理研究所纳米物理器件实验室的陈小龙研究员和张道范老师帮助测试了  $C-f$  曲线.

#### 参考文献

[ 1 ] He Y L, Hu G Y, Yu M B, et al. Conduction mechanism of hydrogenated nanocrystalline silicon films. *Phys Rev B*, 1999, 59 (19) :15352

[ 2 ] Liu M, He Y L, Jiang X L. Photoluminescence characteristics of oxidized hydrogenated nanocrystalline silicon films. *Nanostructure Materials*, 1998, 9(2) :257

[ 3 ] Hamma S, Roca P, Cabarrocas I. Low temperature growth of thick intrinsic and ultrathin phosphorous or boron-doped microcrystalline silicon films: Optimum crystalline fractions for solar cell applications. *Solar Energy Material & Solar Cells*, 2001, 69(2) :217

[ 4 ] Wei W S, Wang T M, Zhang C X, et al. Study on variable capacitance diode of (p) nc-Si / H / (n)c-Si heterojunction. *Vacuum*, 2003, 71(5) :465

[ 5 ] Hideharu M, Tetsuhiro O, Hideyo O, et al. Electrical properties of n-amorphous/p-crystalline silicon heterojunctions. *J Appl Phys*, 1984, 67(4) :1012

[ 6 ] Wang Jinliang, Xu Gangyi, Wang Tianmin. Study on the structure of doped hydrogenated nano-crystalline silico films. *Development of Natural Science*, 2001, 11 (3) :331 (in Chinese) [王金良, 徐刚毅, 王天民. 掺杂纳米硅薄膜微结构的研究. *自然科学进展*, 2001, 11(3) :331]

[ 7 ] Wang T M, Wei W S, Xu G Y et al. Study on electrical mechanism of doped nc-Si / H film. *International Journal of Modern Physics B*, 2002, 16(28/29) :4289

[ 8 ] Sze S M. *Semiconductor devices — physics and technology*. Beijing : Science Press, 1985 :92 (in Chinese) [施敏. *半导体器件 — 物理与工艺*. 北京: 科学出版社, 1985 :92]

[ 9 ] Lang D V, Cohen J D, Harbison J P. Measurement of the density of gap states in hydrogenated amorphous silicon by space charge spectroscopy. *Phys Rev B*, 1982, 42(8) :5285

[ 10 ] Cohen J D, Lang D V. Calculation of the dynamic response of Schottky barriers with a continuous distribution of gap states. *Phys Rev B*, 1982, 42(8) :5321

[ 11 ] Viktorovitch P, Jousse D. Determination of the electronic density of states in hydrogenated amorphous silicon (a-Si / H) from schottky diode capacitance-voltage and conductance-voltage measurement. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1980, 35/36 :569

[ 12 ] Snell A J, Mackenzie K D, Le Comber P G, et al. The metal-amorphous silicon barrier, interpretation of capacitance and

- conductance measurement. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1980, 35/36:593
- [13] Liu Gang, Yu Yuehui, Shi Jiqun, et al. *Devices of semiconductor*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000: 269 (in Chinese) [刘刚, 余岳辉, 史济群, 等. 半导体器件——电力、敏感、光子、微波器件. 北京: 电子工业出版社, 2000: 269]
- [14] Hou J G, Wang B, Yang J L, et al. Nonclassical behavior in capacitance of a nanojunction. *Phys Rev Lett*, 2001, 86 (23): 5321
- [15] Wei W S, Wang T M, Zhang C X, et al. Study on optical band gap of boron doped nc-Si H film. *International Journal of Modern Physics B*, 2002, 35 (28/29): 4327
- [16] Xu Gangyi, Wang Jinliang, He Yuliang, et al. Raman spectra of nanocrystalline silicon films. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2000, 21 (12): 1170 (in Chinese) [徐刚毅, 王金良, 何宇亮, 等. 纳米硅薄膜的 Raman 光谱. 半导体学报, 2000, 21 (12): 1170]

## Variable Capacitance Diodes of (p)nc-Si H/(n)c-Si Heterojunction\*

Wei Wensheng<sup>1,2</sup>, Wang Tianmin<sup>1</sup>, Zhang Chunxi<sup>2</sup>, Li Guohua<sup>3</sup>, and Lu Liwu<sup>3</sup>

(1 Center of Material Physics & Chemistry, School of Science, Beihang University (BUAA), Beijing 100083, China)

(2 Institute of Optoelectronics Technology, Beihang University (BUAA), Beijing 100083, China)

(3 Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** A structure of Au/Cr alloy electrode / multi layer of multi-layer p type hydrogenated nanocrystalline silicon (nc-Si H) films on n type crystalline silicon c-Si/ Au/ Ge alloy electrode is fabricated using plasma enhanced chemical vapor deposition system and electronic beam evaporation techniques. It is confirmed by electrical measurements of  $FV$ ,  $CV$ ,  $Cf$ , and deep level transient spectrum that this is a variable capacitance diode of linear slowly varied heterojunction. The capacitance variable coefficient is much more than that of linear slowly varied single crystal silicon heterojunction namely  $\alpha = 0.167$ . The forward conduct mechanism is satisfied to the model of tunneling aided radiation-recombination. The reverse conduction is dominated by current-generated in the space charge region. The diode shows small reverse current and high reverse breakdown voltage as well as good rectification property.

**Key words:** (p)nc-Si H film; (p)nc-Si H/(n)c-Si heterojunction; variable capacitance diode

**PACC:** 7355; 7340L

**Article ID:** 0253-4177(2005)04-0745-06

\* Project supported by National High Technology Research and Development Program of China, Doctoral Stations Fund of State Education Ministry (No. 200220006037), National Natural Science Foundation of China (No. 62076012), and Basic Research Fund of PhD Candidate of Beihang University (BUAA)

Wei Wensheng male, was born in 1966, associate professor, PhD candidate. His main interest is in study of microstructure, photoelectric properties and its devices of integrated electronic-optic circuits of low dimension semiconductor materials.

Received 21 April 2004, revised manuscript received 18 October 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics