

硅压阻输出微传感器的 $1/f$ 噪声*

于晓梅¹ 江兴流¹ J.Thaysen² O.Hansen² A.Boisen²

(1 北京航空航天大学物理系, 北京 100083)

(2 丹麦技术大学微电子中心)

摘要: 从理论和实验上系统地讨论了压阻输出微传感器的噪声。选用了单晶硅、非晶硅、多晶硅和微晶硅四种材料作为压阻材料, 设计了 16 种不同尺寸的力敏 Wheatstone 电桥, 并对器件分别进行了两种不同浓度的掺杂和两种不同条件的退火, 共获得 256 种压阻输出的微传感器。测量所有器件的噪声, 并对噪声谱进行理论分析, 实验结果表明单晶硅具有最低的 $1/f$ 噪声和 Hooge 因子 (α) 的值, 而非晶硅略好于微晶硅和多晶硅。几何尺寸大的力敏电阻具有低的 $1/f$ 噪声, 但 α 值不受器件尺寸的影响。掺杂浓度增加 10 倍时, 不同器件的 $1/f$ 噪声降低介于 35%—50% 之间。相比 950°C、10min 退火条件, 1050°C、30min 的高温长时间退火的器件, 其 $1/f$ 噪声降低约 65%。

关键词: 悬臂梁; $1/f$ 噪声; 压敏; Hooge 因子

PACC: 0710C; 7270; 7220F

中图分类号: TN 304. 93

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2001)09-1182-06

1 引言

随着扫描隧道显微镜(STM)^[1]和原子力显微镜(AFM)^[2]的发明, 各种悬臂梁结构的传感器由于其体积小、灵敏度高而越来越受到关注。这种结构的传感器, 由于其较小的几何尺寸和极薄的厚度($< 1\mu\text{m}$)而对悬臂梁表面的应力或温度变化极为敏感, 因此具有很高的灵敏度。目前, 世界上除进行纯压力悬臂梁的研制外, 更多的机构正进行悬臂梁式微生化传感器的研究^[3—5], 因此悬臂梁结构的传感器具有广泛的商业前景。悬臂梁的微小弯曲通常由光学或电学方法来记录。光学的读数方法可以探测到悬臂梁 10^{-2}nm 量级的弯曲, 但在实际应用中, 特别是在液态条件下和阵列悬臂梁测量中, 激光的调整和校准比较困难。电学读数方法是将力敏电阻集成在悬臂梁上, 因此该类悬臂梁易于转向实用化。

悬臂梁传感器的两个重要参数是它的偏移灵敏度和可探测的最小位移(MDD)。对压阻输出的悬臂梁, 可探测的最小位移不仅取决于材料的应变灵敏

度系数, 而且很大程度上受力敏电阻噪声的限制。虽然目前世界上一些机构在进行悬臂梁的研究, 但对器件噪声进行系统研究的报道却很少, 且他们多采用单晶硅作为力敏材料, 多晶硅、非晶硅、微晶硅等其它材料因为其低的成本和易于集成而同样需要关注。1991 年, Tortonese 等人率先在 Stanford 大学利用硅的压阻效应, 成功地制作出硅压阻悬臂梁, 并用于原子力显微镜^[6], 他们器件的噪声在 0.01Hz 到 1kHz 的带宽范围内, 相当于 0.135nm 的悬臂梁位移。接着 Benjamin W. Chui 研究小组对微悬臂梁进行了改进^[7], 使得器件的灵敏度和共振频率提高了很多, 器件的噪声在 1Hz 到 200Hz 的带宽范围内仅为 0.05nm。Harley 小组在他们的文章中系统地讨论了悬臂梁的设计参数和工艺条件, 除设计了自己的悬臂梁外, 还总结了他人的实验结果^[8]。他们对单晶硅悬臂梁总结出的 α 值介于 3×10^{-6} — 3×10^{-4} 之间。除本课题组以外, 其它材料压阻悬臂梁的研究还未见报道, 但一些多晶硅膜和非晶硅膜的 $1/f$ 噪声研究的文章可供参考^[9—12], 这些文章的作者讨论了 $1/f$ 噪声的起因, 给出的 α 值在 10^{-3} 以上。

* 国家留学基金管理委员会资助项目。

于晓梅 女, 1961 年出生, 博士研究生, 现从事硅基压阻输出悬臂梁和 PECVD 纳米硅薄膜的研究。

2000-11-01 收到, 2001-02-16 定稿

©2001 中国电子学会

本工作对单晶硅、多晶硅、非晶硅和微晶硅四种力敏电阻的噪声进行了系统的对比研究, 同时分析了力敏电阻的几何尺寸、掺杂浓度和退火温度对噪声特性的影响, 通过分析并与理论进行比较, 我们得到了最佳设计参数和工艺条件, 这些数据将为低噪声悬臂梁结构传感器的设计和制造提供很好的依据。

2 实验

基于噪声理论, $1/f$ 噪声的大小与力敏电阻的几何参数有关, 因此我们设计了 16 种不同尺寸的力敏电阻, 以进行对比研究。设计的出发点是选择不同的长宽比(L/W), 同时改变电阻的宽度。设计结果为: $L/W = 5, 10, 20$, 对应每一个 L/W 值, 改变电阻的宽度分别为 5、10、20 和 $40\mu\text{m}$ 。压阻输出的悬臂梁通常设计成对称 Wheatstone 电桥的形式, 四个完全相同力敏电阻中的两个位于衬底上, 另外两个位于悬臂梁上, 其中的一个悬臂梁作为测量悬臂梁, 另一个悬臂梁作为参考悬臂梁。参考电阻被设计在悬臂梁上, 而不是衬底上是考虑当外部环境噪声使悬臂梁形变时, 这个附加的信号可通过参考悬臂梁滤掉。

四个掩膜板(电阻掩膜板、不同掺杂浓度掩膜板、接触孔掩膜板、金属掩膜板)用于本工艺流程。实验中采用 SOI 硅片和普通 P 型硅片作为衬底材料。SOI 硅片的氧化层厚度为 $1\mu\text{m}$, 表面电阻层的厚度为 205nm 。常规 RCA 清洗后, 普通 Si 片在 1050°C 下湿氧氧化 25min , 产生 300nm 的 SiO_2 层, 用于密封力敏电阻的底层。然后, 普通硅片在 LPCVD 炉中, 以硅烷流量为 80sccm 、 33.25Pa 条件, 分别生长 240nm 的非晶硅(580°C)、多晶硅(610°C)和微晶硅(620°C)力敏电阻层。 SF_6 反应离子刻蚀(RIE)刻蚀力敏电阻。所有硅片通过不同掺杂浓度掩膜板进行高、低两种浓度的硼离子注入, 注入能量 30keV , 掺杂浓度对单晶硅为 $5 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 或 $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$, 对 LPCVD 硅材料为 $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 或 $5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ 。高低两种浓度的掺杂通过掩膜板离子注入在同一衬底上, 是为了使对比测量更加准确。 100nm 的热氧化层钝化样品表面后, 样品分别在 N_2 下 950°C 退火 10min 或者在 N_2 下 1050°C 退火 30min 。电子束沉积 $10/200\text{nm}$ Cr/Au 金属膜, 金属膜在 RTA 炉中 320°C 下熔合 20min 。对于噪声测量器件, 不必进行悬臂梁的腐蚀。

采用 HP4396A 谱分析仪记录器件的噪声。在器件的噪声测量中, 为了得到理想的测量结果, 首先屏蔽器件于其它测量仪器, 然后再屏蔽所有测量仪器于实验室环境, 测试用电缆要尽可能的短。加 6V 直流偏压于 Wheatstone 电桥上, 电桥的输出信号通过 SR560 低噪声信号放大器预放, 再通过 HP4396A 谱分析仪记录。为了得到理想的测量数据, 记录时采用分段测量, 测量带宽分别为 $2—1000\text{Hz}$ 和 $1000—20\text{kHz}$, 图 1 为测量示意图。

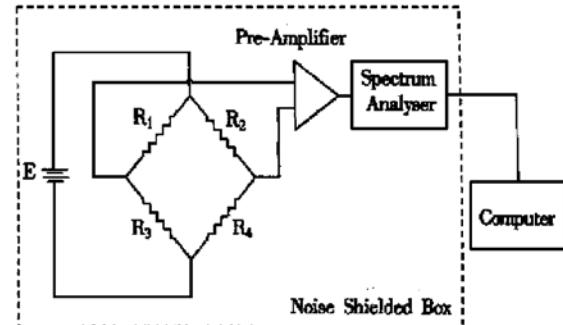


图 1 噪声测量示意图

FIG. 1 Noise Measurement Setup

3 结果和讨论

与频率无关的 Johnson 噪声和低频 $1/f$ 噪声是微传感器的两个主要噪声源。Johnson 噪声也叫热噪声, 它产生于电子材料中自由载流子的无规则热运动, 这种运动源于即使在没有外电场的情况下电流或电压的起伏, 它仅与材料的电阻和温度有关, 不依赖于频率, Johnson 功率噪声 S_{VJ} 可表示为:

$$S_{VJ} = 4k_B T R \quad (1)$$

式中 k_B 是 Boltzmann 常数; T 为温度; R 为电阻。

对于均匀的电阻材料, Hooge 在 1969 年提出了一个解释 $1/f$ 噪声的经验公式^[13]。这个公式可表达为^[14]:

$$\frac{S_{RH}}{R^2} = \frac{S_{VH}}{V^2} = \frac{\alpha}{f N} \quad (2)$$

其中 S_{RH} 和 S_{VH} 为相应于电阻起伏和电压起伏的功率噪声密度; V 为加于电阻 R 上的偏压; f 为频率; N 为总的自由载流子数; α 叫 Hooge 因子, 是一个与器件尺寸无关的常数, 它是一个判断材料性能的重要参数, 介于 10^{-7} 到 10^{-3} 之间。对于矩形电阻, 总的自由载流子数由 $N = p L W t$ 给出, 其中 p 为载流子浓度, L, W, t 分别为电阻的长度、宽度和厚度。

关于 $1/f$ 噪声的起因, 目前还是一个有争论的问题。对于均匀的半导体材料, 普遍接受的观点是 $1/f$ 噪声是一种体效应, 而不是表面效应, 源于电子迁移率的起伏。但在是由晶格散射模型还是由杂质散射模型来解释迁移率起伏却有分歧, 大多数人认为晶格散射是引起 $1/f$ 噪声的主要原因^[15~21]。

图 2 是测出的一组不同宽度的非晶硅样品噪声谱, 电阻的长宽比为 $L/W = 5$, 掺杂浓度为 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, 在 950°C 下退火 10min。图 3 是测出的一组单晶硅样品噪声谱, 电阻的长宽比为 $L/W = 10$, 掺杂浓度为 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, 在 1050°C 下退火 30min。对 256 种不同样品, 均测出了类似的噪声谱, 通过处理、总结这些数据, 我们得出一些结论。

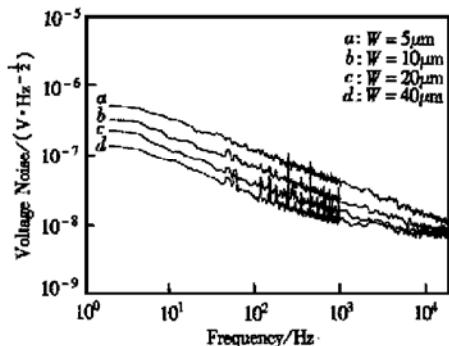


图 2 非晶硅样品噪声谱 样品尺寸 $L/W = 5$, 掺杂浓度 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, 950°C 下退火 10min

FIG. 2 Noise Measurement Spectra of Amorphous Si Samples with $L/W = 5$, Doping Dose $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, Annealing at 950°C for 10min

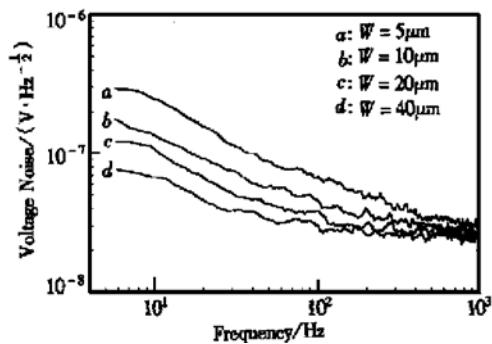


图 3 单晶硅样品噪声谱 样品尺寸 $L/W = 10$, 掺杂浓度 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, 1050°C 下退火 30min

FIG. 3 Noise Measurement Spectra of Single Crystal Si Samples with $L/W = 10$, Doping Dose $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, Annealing at 1050°C for 30min

3.1 几何参数的影响

从噪声谱可以看出, 低频下, $1/f$ 噪声起主要作用, 计算该噪声曲线的斜率为 -0.5 , 即低频下的噪声是 $1/f$ 噪声, 而不是 $1/f^\gamma$ 噪声。随着频率的增加, $1/f$ 噪声逐级减小, 在拐点频率($1/f$ 噪声与 Johnson 噪声的交接频率)处与 Johnson 噪声交叉。对于不同的样品, 拐点频率有很大差别, 对低 $1/f$ 噪声的单晶硅样品, 其拐点频率大约为 50Hz , 而对高 $1/f$ 噪声的多晶硅样品, 拐点频率可高达 10kHz , 说明 $1/f$ 噪声因材料的不同, 会有很大差别。拐点频率以外, 仅观察到 Johnson 噪声, 且 Johnson 噪声能级的测量值与理论计算值基本一致。

几何参数主要通过影响力敏电阻的阻值而影响 Johnson 噪声, 而 $1/f$ 噪声的大小由总的自由载流子数决定。因此, 对某种确定的材料, 扩大电阻的面积可以增加总的自由载流子数, 从而有效地减小 $1/f$ 噪声。这一结论可以由图 2 和图 3 明显看出, 即不论是增加电阻的长度, 还是增加电阻的宽度, $1/f$ 噪声均明显降低。采用 GENPLOT 程序处理原始数据, 对每一种材料, 每一种掺杂浓度和退火条件的样品, 拟合它们的噪声谱, 我们均可准确计算出其 $(S_{vf})^{1/2}$, 然后通过 $(S_{vf})^{1/2} \propto 1/LW$ 的关系, 拟合各直线并计算斜率, α 的值可以准确的计算出来。图 4 给出的是三组不同长宽比非晶硅的样品, $(S_{vf})^{1/2}$ 随 $1/L$ 的变化关系, 三条线均具有很好的线性关系, 此时工艺条件为: 掺杂浓度 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, 退火温度 1050°C , 30min。对每种工艺条件的样品, 都进行

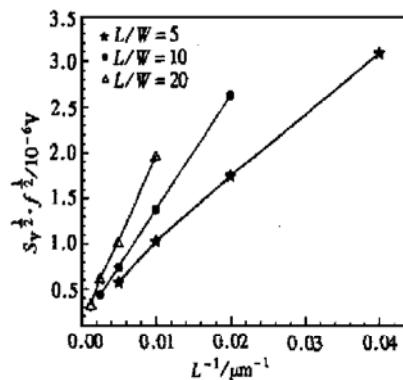


图 4 非晶硅样品的 $1/f$ 噪声能级随电阻长度的关系
样品掺杂浓度 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, 1050°C 退火 10min

FIG. 4 Calculated Noise Level Versus $1/L$ for Amorphous Si Samples with Doping Dose $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, Annealing at 1050°C for 10min

类似的数据处理,计算出相应的 α 值,计算结果列于表 1。每个 α 值都是从许多个不同尺寸的样品平均得出,因此此结果具有可靠性。

$1/f$ 噪声随力敏电阻尺寸的增加而明显降低,但并不意味着力敏电阻的尺寸越大越好,太大的力

敏电阻会降低器件灵敏度,同时噪声谱振动幅度也会明显增加。综合考虑器件的噪声和灵敏度,我们认为 $L/W = 10$ 时, L 在 $100\text{--}200\mu\text{m}$ 之间是较合适的器件尺寸。

表 1 不同材料 α 值的计算结果Table 1 Calculated α Values for Different Piezoresistor Materials

Materials	Annealing at 950°C for 10min			Annealing at 1050°C for 30min				
	Doping Dose/ cm^{-2}	5×10^{13}	5×10^{14}	5×10^{15}	Doping Dose/ cm^{-2}	5×10^{13}	5×10^{14}	5×10^{15}
Single Crystal Silicon	5.0×10^{-6}	5.7×10^{-6}	—	—	3.2×10^{-6}	3.2×10^{-6}	—	—
Microcrystalline Silicon	—	1.8×10^{-3}	1.5×10^{-3}	—	—	9.9×10^{-4}	1.4×10^{-3}	—
Polysilicon	—	1.9×10^{-3}	2.1×10^{-3}	—	—	—	—	—
Amorphous Silicon	—	1.3×10^{-3}	1.3×10^{-3}	—	—	6.5×10^{-4}	8.0×10^{-4}	—

3.2 材料的影响

对比所有噪声谱,发现单晶硅样品的 $1/f$ 噪声明显低于 LPCVD 样品的 $1/f$ 噪声。在电阻尺寸、掺杂浓度、退火条件均相同的情况下,单晶硅样品的 $1/f$ 噪声仅为 LPCVD 样品 $1/f$ 噪声的 $1/10$,而表 1 给出的 α 值降低了 2—3 个量级。对比三种 LPCVD 材料发现,非晶硅的 $1/f$ 噪声和 α 值低于多晶硅和微晶硅样品,而微晶硅样品略好于多晶硅。单晶硅样品的低 $1/f$ 噪声说明单晶硅具有较完整的晶格结构,材料内的缺陷远低于 LPCVD 材料。在 LPCVD 材料中,除晶格缺陷外,材料中氢原子或原子团的移动和晶粒的边界是引起 $1/f$ 噪声的另一主要原因,晶粒的边界象陷阱一样捕获离化的粒子,从而使材料的 $1/f$ 噪声增大。晶粒边界的形状同样决定着 $1/f$ 噪声的大小,小曲率半径的晶粒会引起大的 $1/f$ 噪声,这就是所谓的接触噪声^[22]。

3.3 掺杂浓度的影响

不同的掺杂浓度对应着不同的载流子浓度,当然也影响着器件的 $1/f$ 噪声。对比所有的实验结果发现,在器件尺寸和其它工艺条件均相同的情况下,当掺杂浓度增加 10 倍时, $1/f$ 噪声降低 36%—50%。图 5 为两组相同尺寸微晶硅样品在相同退火条件下,不同掺杂浓度的 $1/f$ 噪声对比结果,显然,提高掺杂浓度会有效地降低器件的噪声。从公式(2)看, $1/f$ 噪声反比于 \sqrt{N} ,如果以掺杂浓度乘以电阻的体积代替 N ,那么掺杂浓度增加 10 倍时, $1/f$ 噪

声应降低 31.6%。我们的实验结果高于 31.6%,说明材料中的自由载流子浓度低于掺杂浓度,即掺入的硼离子没有完全激活。

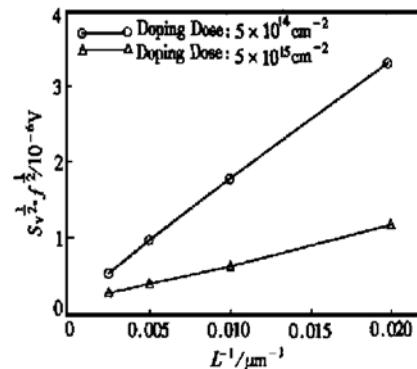


图 5 两组微晶硅样品不同掺杂浓度的 $1/f$ 噪声对比结果 样品尺寸 $L/W = 10$, 1050°C 退火 30min

FIG. 5 Noise Level Comparison of Two Different Doping Dose Samples for Microcrystalline Si with $L/W = 10$, Annealing at 1050°C for 30min

对比表 1 中不同掺杂浓度的 α 值发现,虽然掺杂浓度对噪声有很大影响,但对 α 值却几乎没有影响。通常,高的掺杂浓度即意味着高的杂质散射中心,那么不同掺杂浓度样品的几乎相同的 α 值结果说明:我们的力敏电阻 $1/f$ 噪声与杂质散射无关,这验证了 Hooge 等人提出的晶格散射而非杂质散射的模型。在降低器件噪声的同时,面临着降低器件的灵敏度。我们推荐 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 作为最佳掺杂浓度,是因为这个掺杂浓度恰好位于力敏电阻的灵敏度系数开始明显降低的拐点处^[23]。

3.4 退火处理

这个工艺过程有两个目的: 第一, 减少点缺陷密度; 第二, 在间隙位置的注入杂质原子能移动到晶格位置, 变成电激活。缺陷态密度的减小将降低 $1/f$ 噪声, 同时杂质原子的电激活可增加有效的自由载流子数, 而减小 $1/f$ 噪声。考虑高温退火杂质激活更完全, 我们选择 950°C 退火 10min 和 1050°C 退火 30min 处理我们的样品。比较两种退火条件, 发现对所有样品, 相比 950°C , 10min 退火条件, 1050°C , 30min 退火降低 $1/f$ 噪声约 65% , 同样表 1 中的 α 值也降低了约 65% 。图 6 为两个微晶硅样品的对比测量结果。

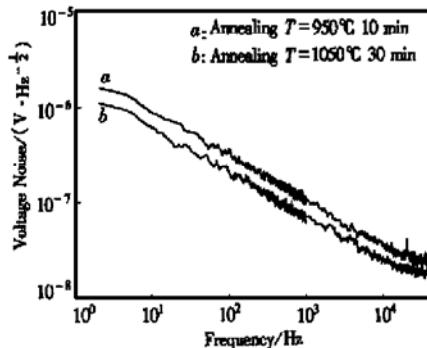


图 6 两个微晶硅样品不同退火条件下的 $1/f$ 噪声对比结果 样品尺寸 $L/W = 5$, $L = 25\mu\text{m}$, 掺杂浓度为 $5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$

FIG. 6 Noise Level Comparison of Two Micro-crystalline Si Piezoresistors at Different Annealing Temperature with $L/W = 5$, $L = 25\mu\text{m}$, Doping Dose $5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$

对比 Harley^[8]总结的 α 值与扩散长度间的关系曲线发现, 我们单晶硅样品的实验结果与他们给出的模型一致。对掺杂浓度为 $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$, 高温长时间退火的单晶硅样品, 测量发现其输出噪声能级非常低, 仅为零电压时输出的 2.5 倍, 计算的 α 仅为 3.2×10^{-6} , 并且噪声能级基本上与力敏电阻的尺寸无关, 这是一个值得进一步探讨的结果。与掺杂一样, 对高温、长时间退火的样品, 由于硼离子的纵向扩散, 悬臂梁的表面应力面临着降低的可能, 从而可能降低器件的灵敏度。

4 结论

我们对用于悬臂梁的压敏 Wheastone 电桥的

设计参数和工艺条件进行优化。结果表明, 低频下 $1/f$ 噪声是主要的噪声源。比较四种压阻材料, 单晶硅具有最低的 $1/f$ 噪声和 α 值。在三种 LPCVD 压敏材料中, 非晶硅的 $1/f$ 噪声和 α 值略低于其它两种材料。从设计参数来考虑, 长宽比为 10, $L = 100\text{--}200\mu\text{m}$ 是我们推荐的电阻尺寸。对比单晶硅 $5 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 或 $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$, LPCVD 硅材料 $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 或 $5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ 两种掺杂浓度, 高浓度的掺杂降低 $1/f$ 噪声 $35\% \text{--} 40\%$, 但对 α 值并没有很大影响。相比 950°C , 10min 退火条件, 1050°C , 30min 退火降低 $1/f$ 噪声和 α 值约 65% 。

参考文献

- [1] G. Binnig and H. Rohrer, Helv. Phys. Acta., 1982, **55**: 726.
- [2] G. Binnig, C. F. Quate and Ch. Gerber, Phys. Rev. Lett., 1986, **56**: 930.
- [3] J. Fritz, M. K. Baller, H. P. Lang and H. Rothuizen, Science, 2000, **288**(5464): 316.
- [4] A. Boisen, J. Thaysen, H. Jensenius and O. Hansen, Ultramicroscopy, 2000, **82**: 11–16.
- [5] A. M. Moulin, S. J. O’Shea and M. E. Welland, Ultramicroscopy, 2000, **82**: 23–31.
- [6] Tortonese, The Processing of Transducers 91 (IEEE, 1991), IEEE Publication No. 91 CH2817-5, 448.
- [7] Benjamin W. Chui and Timothy D. Stowe, Solid-State Sensor and Actuator Workshop, June, 2–6, 1996.
- [8] J. A. Harley, T. W. Kenny, IEEE/ASME, J. Microelectromechanical Systems, 2000, **9**: Issue 2, 226–235.
- [9] G. Snyder and M. B. Weissman, Phys. Rev., 1997, **B56**: 9205.
- [10] Laurence Michelutti, Phys. Rev., 1998, **B57**: 12360.
- [11] W. Y. Ho and Charles Surya, Solid-State Electronics, 1997, **41**: 1247.
- [12] J. Rhayem and D. Rigaud, Solid-State Electronics, 1999, **43**: 713.
- [13] F. N. Hooge, $1/f$ Noise is No Surface Effect, Phys. Lett., 1969, **A29**: 139–140.
- [14] F. N. Hooge and T. G. M. Kleinpenning, Rep. Prog. Phys., 1981, **44**: 479.
- [15] L. K. J. Vandamme, M. Saveli et al., Eds. Amsterdam: Slsevier, 1983, 183–192.
- [16] F. N. Hooge, IEEE Trans. Electron Device, 1994, **41**(11): 1926.
- [17] X. Y. Chen, Solid-State Electronics, 1999, **43**: 1715–1724.
- [18] Ren L. and H. H. Hooge, Phys. B, 1992, **176**: 209.
- [19] H. de Graaff and M. Huybers, J. Appl. Phys., 1982, **54**: 2504.
- [20] L. Luo and G. Bosman, IEEE Trans. Electron Devices, 1990, **37**: 768.

- [21] X. Y. Chen and C. Salm, Solid-State Electronics, 1999, **43**: 1715.
[22] 2nd Eurosensors School on Fundamentals of Sensors Science
[23] E. Obermier and P. Kopystynski, Sensors and Actuators A, 1992, **30**: 149—155.

$1/f$ Noise in Silicon-Based Piezoresistive Microsensor^{*}

YU Xiao-mei¹, JIANG Xing-liu¹, J. Thaysen², O. Hansen² and A. Boisen²

(1 Department of Physics, Beijing University of Aero. & Astro, Beijing 100083, China)

(2 Mikroelektronik Centret, Bldg. 345E, Technical University of Denmark, DK-2800, Lyngby, Denmark)

Abstract: $1/f$ noise is investigated in silicon-based piezoresistive microsensors as a function of the geometry and material of the piezoresistors. A series of differently sized piezoresistive Wheatstone bridges have been fabricated using single crystal silicon, LPCVD amorphous silicon, LPCVD poly-crystalline silicon and LPCVD micro-crystalline silicon as piezoresistive layers. The resistor layers are boron ion-implanted with two different doping doses, and then annealed at two different temperatures. The measurement results show that single crystal silicon is the best material for low noise microsensor. Compared with LPCVD piezoresistive devices, the Hooge factor (α) of single crystal silicon can be reduced more than two magnitude orders. Among the three LPCVD silicon materials, amorphous silicon is a little better than the other two LPCVD piezoresistive materials. The α value is independent of the device geometry though the bigger sized resistors have lower $1/f$ noise. The $1/f$ noise will be decreased 35%—50% if the doping dose increases 10 times. But the α values keep unchanged for the piezoresistive devices of different doping concentrations. That means the $1/f$ noise arises from lattice scattering, but not from impurity scattering for the piezoresistors. Compared with 950°C 10min annealing, 1050°C 30min annealing decreases noise level about 65%.

Key words: cantilever; $1/f$ noise; piezoresistive; Hooge factor

PACC: 0710C; 7270; 7220F

Article ID: 0253-4177(2001)09-1182-06

* Project Supported by China Scholarship Council CSC.

YU Xiao-mei female, was born in 1961. She obtained MS degree from Jilin university. Now she is a PhD candidate and engaged in research on piezoresistive cantilevers and PECVD nano-crystalline silicon films.