

耗尽区调制对氢化 MILC Poly-Si TFT 热产生漏电的影响

朱 臻

(华东师范大学 信息科学技术学院电子工程系, 上海 200241)

摘 要: 研究了热载流子应力下耗尽区调制效应对氢化金属诱导横向结晶多晶硅薄膜晶体管热产生漏电的影响. 从理论上论证了热载流子应力下氢化金属诱导横向结晶多晶硅薄膜晶体管热产生漏电中的耗尽区调制效应的存在. 并利用正、反向测量模式, 从实验上进一步确认这种效应对氢化金属诱导横向结晶多晶硅薄膜晶体管热产生漏电的影响. 发现在热载流子应力下, 正、反向测量模式时, 氢化金属诱导横向结晶多晶硅薄膜晶体管热产生漏电均随应力时间的增加而减小. 但由于漏极和源极附近沟道区的表面势受热空穴注入影响的程度不同, 热载流子应力下, 正、反向测量模式的热产生漏电减小程度不同. 理解热载流子应力下耗尽区调制效应对氢化金属诱导横向结晶多晶硅薄膜晶体管热产生漏电的影响, 有助于成功设计电路.

关键词: 金属诱导横向结晶; 多晶硅薄膜晶体管; 热载流子应力; 热产生漏电; 耗尽区调制效应

中图分类号: TN325+.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)02-0043-04

The Impact of the Depletion Region Modulation on the Thermally Generated Leakage Current of MILC Poly-Si TFT

ZHU Zhen

(Department of Electronic Engineering, School of Information Science and Technology,
East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The depletion region modulation effect on the thermally generated leakage current of hydrogenated metal-induced laterally crystallized polycrystalline silicon thin film transistors under the hot-carrier stress has been studied. The depletion region modulation effect on the thermally generated leakage current of the hydrogenated ones under the hot-carrier stress is proved theoretically. At the same time, this effect on the thermally generated leakage current of hydrogenated metal-induced laterally crystallized polycrystalline silicon thin film transistors is confirmed by the forward and reverse measurement modes in experiments. And it is found that the thermally generated leakage current of the hydrogenated ones all decreases with the stress time evolution in both modes. However, due to the different influence of the hot holes' injection on the surface potentials of the channel near the drain and source, the decrease of the thermally generated leakage current appears different in the forward and reverse measurement modes under the hot-carrier stress. Understanding the depletion region modulation effect on the thermally generated leakage current of hydrogenated metal-induced laterally crystallized polycrystalline silicon thin film transistors under the hot-carrier stress is helpful for designing circuits.

Key words: metal-induced lateral crystallization; polycrystalline silicon thin film transistors; hot-carrier stress; thermally generated leakage current; depletion region modulation effect

1 引言

低漏电的高性能低温多晶硅薄膜晶体管(poly-

crystalline silicon thin film transistor, Poly-Si TFT)是实现平板显示器和系统集成模块的关键因素^[1]. 特别在供电电压相对较高的驱动电路中, 低温 Poly-Si TFT 的漏电正日益引起关注. 在低温多晶

硅技术中,金属诱导横向结晶(metal-induced lateral crystallization, MILC)比准分子激光结晶(excimer laser crystallization, ELC)更廉价^[2],在质量上比固相结晶(solid phase crystallization, SPC)更好^[3].因此,澄清由高漏极偏置产生的热载流子(hot-carrier, HC)应力下, MILC Poly-Si TFT 的漏电可靠性问题意义重大. 尽管 Poly-Si TFT 在 HC 应力下的场助产生漏电特性和机制已有研究^[4-6]. 然而, MILC TFT 在 HC 应力下,当电场很小时的热产生漏电机理鲜有报道. 为澄清其机制,从正、反向测量模式下研究了热产生漏电的机理.

2 器件和实验

实验研究采用 $W/L=50\text{ }\mu\text{m}/10\text{ }\mu\text{m}$ 的顶栅单向结晶 n 型 MILC 氢化 Poly-Si TFT. 其制作工艺步骤如下: (1) 在 550°C 时,用低压化学气相淀积法(low-pressure chemical vapor deposition, LPCVD)在氧化硅圆片上淀积 $1\text{ }200\text{ }\text{\AA}$ 的非晶硅. (2) 定义有源岛,并于 420°C 时淀积 $1\text{ }000\text{ }\text{\AA}$ 低温氧化层作为栅氧. (3) 在 550°C 时,以 LPCVD 淀积 $3\text{ }000\text{ }\text{\AA}$ 非晶硅作为栅材料. (4) 开 Ni 诱导窗,淀积 5 nm Ni, 在 550°C 16 小时工艺条件下,同时完成栅金属诱导结晶(metal-induced crystallization, MIC)和沟道 MILC. (5) 以 $4\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 的浓度进行磷自对准注入,并在 8 小时 550°C 的条件下激活杂质. (6) 淀积 $5\text{ }000\text{ }\text{\AA}$ 的低温氧化层作为绝缘层,再开出接触孔. (7) 淀积 $5\text{ }000\text{ }\text{\AA}$ 的 Al-1% Si 层,形成电极. (8) 最终,在 300°C 时,于 13.56 MHz 的平行极板反应器(STS 310 PECVD 系统)中,进行 2 小时的纯氢气等离子体处理.

实验利用 Agilent 4156C 半导体参数分析仪和 Vector MX-1100B 探针台对 MILC Poly-Si TFT 进行应力实验和测试. 实验采用的应力条件为固定栅极应力电压(应力 V_g)和漏极应力电压(应力 V_d),施加不同的应力时间(应力 t). 其中应力 V_g 略高于器件的阈值电压,以保证有足够的自由电子. 应力 V_d 相对较大,以保证 HC 应力下漏极产生碰撞离化. 研究中采用了正、反向测量模式. 正向测量模式指施加应力时与测量时源漏位置一致. 反向测量模式指测量时将源漏位置互换. 在正、反向测量模式下,采用漏源电压(V_{ds})为 0.1 V . 用于表征热产生漏电的 I_{off} 定义为栅源电压(V_{gs})为 -14 V 时的电流. 热产生漏电的相对退化量定义为

$$\Delta I_{off} = \frac{I_{off}(\text{应力后}) - I_{off}(\text{初始值})}{I_{off}(\text{初始值})} \times 100\%$$

3 结果与讨论

图 1 和图 2 分别给出了在给定应力条件下,正、反向测量模式时, $W/L=50\text{ }\mu\text{m}/10\text{ }\mu\text{m}$ 的氢化 Poly-Si TFT 漏电随应力时间的变化. 其中插图是相应的转移特性曲线随应力时间的变化. 整个漏电曲线由于耗尽区调制效应而垂直平移. 并且随着应力时间的变化,平带电压(V_{FB})平移,导致整个漏电曲线向栅极电压更负的方向平移. 因为初始的热产生漏电与由 Shockley-Read-Hall (SRH) 统计描述的热产生-复合过程有关,而与栅极电压无关^[7-8],故热产生漏电只受耗尽区调制效应的影响.

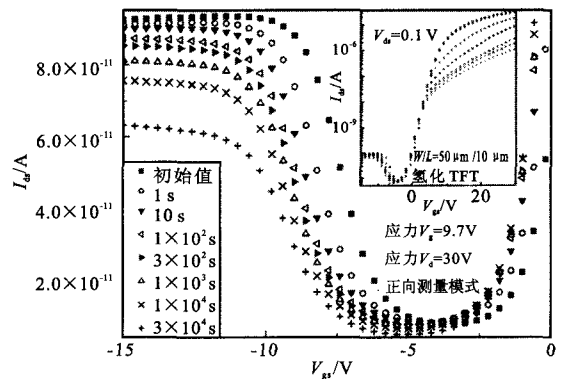


图 1 在给定应力条件下,正向测量模式时,热产生漏电随应力时间的变化($V_{ds}=0.1\text{ V}$ 时,相应的转移特性随应力时间的变化)

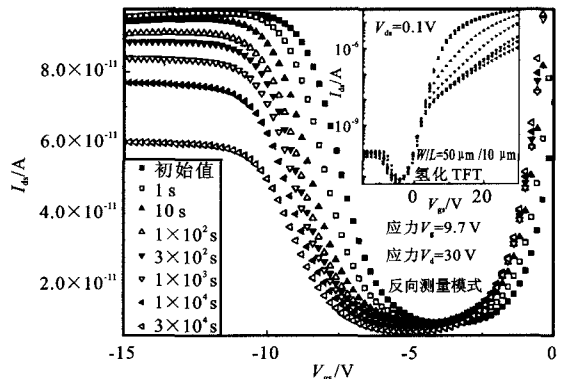


图 2 在给定应力条件下,反向测量模式时,热产生漏电随应力时间的变化($V_{ds}=0.1\text{ V}$ 时,相应的转移特性随应力时间的变化)

众所周知,当 TFT 处于负栅压时,空穴积累形成 p 型沟道区域^[9]. 这样,在漏极和沟道之间就形成了处于反向偏置的 p-n 结. 这种效应可由以下方程

导出:

$$\begin{aligned} p_s &= n_i \cdot \exp\left[\frac{E_i(\text{表面}) - E_F(\text{表面})}{KT}\right] \\ &= n_i \cdot \exp\left[\frac{E_i(\text{体区}) - E_F(\text{表面}) - (E_i(\text{体区}) - E_i(\text{表面}))}{KT}\right] \\ &= n_i \cdot \exp\left[\frac{E_i(\text{体区}) - E_F(\text{体区}) - (E_i(\text{体区}) - E_i(\text{表面}))}{KT}\right] \\ &= p(\text{体区}) \cdot \exp\left[\frac{E_i(\text{表面}) - E_i(\text{体区})}{KT}\right] \end{aligned} \quad (1)$$

式中, p_s 定义为表面空穴浓度, n_i 是本征载流子浓度, E_i 是本征费米能级, E_F 为费米能级, K 为波尔兹曼常数, T 是绝对温度, p 是空穴浓度. 如果体区电势定义为 0 V:

$$E_i(\text{表面}) - E_i(\text{体区}) = -q\psi_s \quad (2)$$

式中, ψ_s 为表面势.

故式(1)可写为

$$p_s = p(\text{体区}) \cdot \exp\left[\frac{-q\psi_s}{KT}\right] \quad (3)$$

因为施加 HC 应力时, 热空穴被注入到漏极附近的栅氧之中^[4-6], 阻碍了关态时, 空穴在表面的积累形成 P 型沟道. 根据式(3), ψ_s 会增加.

这样, 漏极和源极(在反向测量模式下, 即为漏极)耗尽区的内建电势 V_{bi} 可表示如下:

$$V_{bi} = \phi_n - \phi_p = \phi_n - \psi_s \quad (4)$$

式中, ϕ_n 为 n 型中性区的电势, ϕ_p 为 p 型中性区的电势. 所以, 耗尽区的 V_{bi} 减小.

耗尽区的宽度可表示如下:

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \cdot \left(\frac{N_A + N_D}{N_A \cdot N_D}\right) \cdot (V_{bi} + V_D)} \quad (5)$$

式中, N_A 是受主浓度, N_D 是施主浓度, V_D 是漏极电势. 故 W 变小. 众所周知, TFT 的漏极偏置相对较高的场助产生漏电和热产生漏电都依赖于漏极耗尽区中的产生-复合机制^[7-8]. 这样, HC 应力下, 在正, 反向测量模式时, 由于耗尽区范围的缩小, 导致热产生漏电减小.

然而, 热空穴仅仅注入到漏极附近的栅氧中. 所以, 在 HC 应力下, 在漏极和源极(在反向测量模式下, 即为漏极)附近沟道区的表面势变化会不同. 这样, 就导致源极和漏极耗尽区范围变化的不同. 故尽管在 HC 应力下, 热产生漏电在正, 反向测量模式时都持续减小, 但其相对变化量 ΔI_{off} 却不同, 如图 3 所示.

图 3 中, ΔI_{off} 与对数坐标下的应力时间很好地呈现线性依赖关系. 在正向测量模式下, 曲线的斜率为 -4.12, 而在反向测量模式下, 曲线斜率是 -5.78. 近似相等的斜率意味着 HC 应力下, 其热产

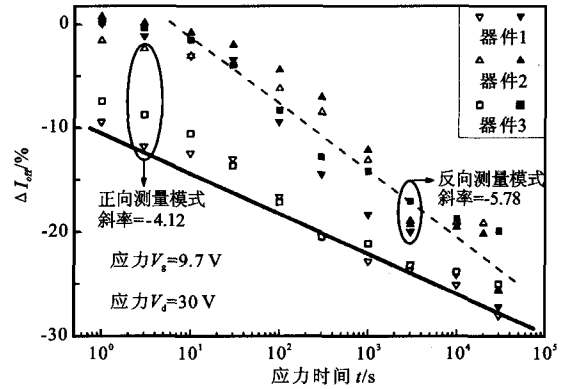


图 3 图 1 和图 2 中热产生漏电在正、反向测量模式时的相对变化量 ΔI_{off}

生漏电的减小遵循同一机制, 这已由上面公式推导出来. 和对数坐标下应力时间的线性依赖关系意味着先前注入的热空穴会阻碍后续热空穴的注入. 如图 2 所示, 很明显, HC 应力下, 由于漏极和源极(在反向测量模式下, 即为漏极)侧沟道表面势的不同, 漏极和源极耗尽区收缩范围不同. 从而导致热产生漏电在正向测量模式下, 减小更多. 然而, 随着应力时间的延长, 导致更多的热空穴注入, 漏极和源极(在反向测量模式下, 即为漏极)侧沟道表面势的差异变小, 在正, 反向测量模式下的 ΔI_{off} 的差异也开始变小. 故在长时间应力后, 正, 反向测量模式下的 ΔI_{off} 逐渐接近.

低温 Poly-Si TFT 在平板显示器和系统集成模块中的作用十分重要. 在有源矩阵液晶显示器 (active-matrix liquid crystal displays, AMLCDs) 中, Poly-Si TFT 可用作开关元件, 以及用于驱动电路^[10-11]. 在大多数应用场合, 主要问题在于其漏电. 在 AMLCDs 应用中, 漏电是影响在刷新前, 视频信息能保存在像素上时间的限制因素. 对于 AMLCDs 的像素 Poly-Si TFT, 主要需求就是得到低的, 且能很好控制的漏电.

此外, 高漏端偏置引起的 HC 效应会影响器件寿命, 引发 Poly-Si TFT 的长期可靠性问题. 因为, 在 AMLCD 的应用中, 集成多晶硅电路的驱动电压很大 (大于等于 15 V), HC 效应非常重要. 从而, Poly-Si TFT 的长期可靠性问题严重制约着电路设计. 因此, 理解 HC 应力下, 耗尽区调制效应对氢化 MILC Poly-Si TFT 热产生漏电的影响, 对于成功设计电路, 至关重要.

4 结束语

本文从理论上论证了 HC 应力下氢化 MILC

Poly-Si TFT 热产生漏电中耗尽区调制效应的存在. 并利用正、反向测量模式, 从实验上进一步确认 HC 应力下耗尽区调制效应对氢化 MILC Poly-Si TFT 热产生漏电的影响. 发现在 HC 应力下, 氢化 MILC Poly-Si TFT 正反向测量模式的热产生漏电均随应力时间的增加而减小. 由于漏极和源极侧沟道表面势受热空穴注入影响的程度不同, 相应耗尽区的收缩范围不同. 导致正向测量模式下, 热产生漏电减小更多. 但随着应力时间的延长, 热空穴注入增多, 正、反向测量模式下的热产生漏电差异逐渐减小. 理解 HC 应力下, 氢化 MILC Poly-Si TFT 热产生漏电的特性和机制, 有助于成功设计电路.

参考文献:

- [1] Harada K, Kimura H, Miyatake M, et al. A novel low-power-consumption all-digital system-on-glass display with Serial interface[J]. J Soc Inf Disp, 2010, 18(1): 30—36.
- [2] Fortunato G, Mariucci L, Carluccio R, et al. Excimer laser crystallization techniques for polysilicon TFTs[J]. Appl Surf Sci, 2000, 154: 95—104.
- [3] Little T W, Takahara K I, Koike H, et al. Low temperature poly-Si TFTs using solid phase crystallization (SPC) of very thin films and an ECR-CVD gate insulator [C]// Conf Solid State Devices Mater. Yokohama, 1991: 644—646.
- [4] Tallarida G, Pecora A, Fortunato G, et al. Leakage current reduction due to hot carrier effects in n-channel polycrystalline silicon thin film transistors [J]. J Non Cryst Solids, 1995, 187:195—198.
- [5] Farmakis F V, Dimitriadis C A, Brini J. Photon emission and related hot-carrier effects in polycrystalline silicon thin-film transistors [J]. J Appl Phys, 1999, 85(9): 6917—6919.
- [6] Chang K M, Chung Y H, Lin G M. Anomalous variations of OFF-State leakage current in poly-Si TFT under static stress [J]. IEEE Electron Device Lett, 2002, 23(5): 255—257.
- [7] Pecora A, Schillizzi M, Tallarida G, et al. Off-current in polycrystalline silicon thin film transistors: an analysis of the thermally generated component [J]. Solid State Electron, 1995, 38(4):845—850.
- [8] Yeh C F, Lin S S, Yang T Z, et al. Performance and off-state current mechanisms of low-temperature processed polysilicon thin-film transistors with liquid phase deposited SiO₂ gate insulator [J]. IEEE Trans on ED, 1994, 41(2):173—179.
- [9] Lui O K B, Quinn M J, Tam S W B, et al. Investigation of the low field leakage current mechanism in polysilicon TFTs [J]. IEEE Trans on ED, 1998, 45(1): 213—217.
- [10] 马召钰, 魏廷存, 于海勋, 等. 手机用彩色 TFT-LCD 驱动控制芯片的驱动电路设计 [J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(3):165—168.
- [11] Pappas I, Siskos S, Dimitriadis C A. A fast and compact analog buffer design for active matrix liquid crystal displays using polysilicon thin-film transistors [J]. IEEE Trans Circuits Syst Express Briefs, 2008, 55(6): 537—540.

作者简介:

朱 臻 男, (1980—), 博士研究生. 研究方向为半导体器件.