

红外瞬态退火全离子注入 MOS 工艺的研究

侯东彦 马腾阁 陈必贤 钱佩信

(清华大学微电子学研究所)

1984年10月24日收到

研究了一种新的红外瞬态退火技术,其工艺与常规的 MOS 工艺高度兼容。本文报道了这种红外瞬态退火的全注入 MOS 工艺。用这种工艺制备的 $1\mu\text{m}$ 沟长的 MOSFET 的电性能良好。同时也制备了 $3\mu\text{m}$ 沟长的 23 级环振器与沟长为 $2\mu\text{m}$ 的 43 级环振器,这些环振器每级门的延迟时间分别是 1ns 和 0.6ns 。

一、引言

随着集成电路技术的发展,对离子注入后的退火技术提出了越来越高的要求。常规的高温长时间的退火方法已经不能够适应了。因此,近年来发展了各种各样的瞬态退火方法^[1-7]。我们曾经报道了用高频感应加热石墨作为红外辐射源对高剂量注砷硅进行瞬态辐照退火的一些实验结果^[8]。本文将进一步报道这种红外瞬态退火技术的设备和工艺实验的结果以及红外瞬态退火全离子注入短沟 MOS 工艺的研究结果。

二、红外瞬态退火的设备与工艺实验结果

1. 红外瞬态退火的设备

红外瞬态退火的设备如图 1 所示,在退火时将样品置于样品架上,由推送装置将其推至加热的石墨上方进行瞬态退火,然后再推出石英腔。样品的退火时间可精确控制,其误差在 1 秒以内。

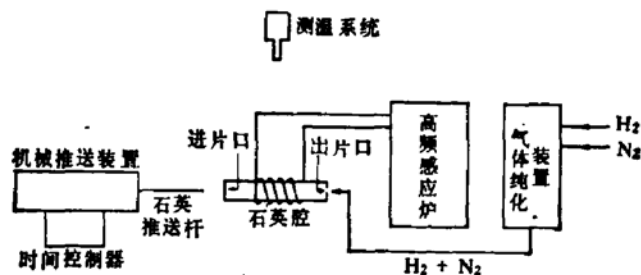


图1 红外瞬态退火设备框图

差在 1 秒以内。退火的温度由调节高频感应炉的输出功率来控制。本设备可以在 3 秒内使样品升至预定的退火温度。升温曲线如图 2 所示。样品的最高温度可升至 1200°C , 其温度用双色红外测温仪直接测量,被测样品的发射系数与环境气氛对温度测量的影响较

小。工作中采用氮气或氮氢混合气体作为保护气体。此设备每小时可退火 60—100 片。

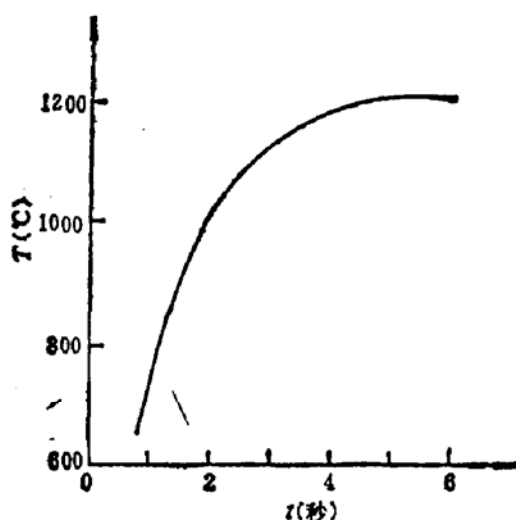


图 2 样品的实际升温曲线

2. 红外瞬态退火对硅样品表面少数载流子寿命的影响

在文献 [8] 中曾经报道：红外瞬态退火后使硅样品表面少数载流子的寿命短的的增长，长的变短，并且解释了少数载流子寿命提高的原因。进一步的实验表明：少数载流子寿命降低是由于退火系统污染所造成的。消除污染，红外瞬态退火后表面少数载流子寿命比常规热退火样品高。为了减少沾污，系统要作严格清洗、保护气体要纯化，而且要选用高纯石墨并作高温去气或包硅。在洁净系统中经过不同条件退火后样品表面少数载流子寿命列在表 1。

表 1 几种不同条件下退火的样品的少数载流子寿命 τ

测试图形	$\tau_1(\mu s)$	$\tau_2(\mu s)$	$\tau_3(\mu s)$	$\tau_4(\mu s)$
1	81	84.9	156.4	297
2	98.3	190.4	86.4	228.7
3	101	279	153.3	205.7
4	91.8	244	112.9	246.2

表 1 中 τ_1 是常规热退火(1040°C, 30 分)样品的少子寿命； τ_2 是用高温去气不包硅石墨在氮气保护下红外瞬态退火样品的少子寿命； τ_3 是用高温去气后包硅石墨在氮气保护下作红外瞬态退火样品的少子寿命； τ_4 是用高温去气不包硅石墨在氮氢混合气体保护下作红外瞬态退火样品的少子寿命。红外瞬态退火的条件是 1080°C, 8 秒，所有样品都是选用 30—35 Ω cm 的 P 型<100>硅。

从表 1 的结果看，所有红外瞬态退火样品的表面少子寿命都高于常规热退火样品。这说明红外瞬态退火本身有利于提高样品的表面少子寿命。特别是在氮氢保护气氛下红外瞬态退火的效果更好。

3. 红外瞬态退火对样品弯曲度的影响

近年来国外已报道瞬态退火后样品发生滑移^[9]，这是在集成电路技术中采用瞬态退火技术的最大障碍。但是在我们设计制作的红外退火炉中作红外瞬态退火后，样品表面光亮平整，没有滑移线。

弯曲度表示样品某一方向上的凹凸情形。我们用 2 英寸硅片作实验，首先测量红外瞬态退火前样品在 5 个方向上的弯曲度，退火后再对应测量在这些方向上样品的弯曲度，

表 2 红外瞬态退火引起样品弯曲度的变化

	角 度	0°	30°	60°	90°	120°	
ΔH_1 (μ)	退火前	5.0	5.0	0.5	3.0	3.0	900℃ 10 秒
	退火后	5.0	5.0	0.5	3.0	3.0	
ΔH_2 (μ)	退火前	8.0	8.0	6.5	5.5	10.5	900℃ 10 秒
	退火后	7.5	6.0	4.0	6.5	9.5	
ΔH_1 (μ)	退火前	10.6	6.0	10.5	3.0	9.0	1000℃ 10 秒
	退火后	10	6.5	10.5	3.0	9.0	
ΔH_2 (μ)	退火前	14.0	8.0	4.0	7.5	11.0	1000℃ 10 秒
	退火后	12.5	6.5	4.0	5.0	7.5	
ΔH_1 (μ)	退火前	7.5	5.0	5.6	3.0	6.5	1100℃ 10 秒
	退火后	7.5	5.0	5.0	3.5	7.5	
ΔH_2 (μ)	退火前	10.0	8.5	9.6	6.5	7.5	1100℃ 10 秒
	退火后	8.5	5.5	3.5	5.0	6.5	

以观察红外瞬态退火所引起的弯曲度的改变。测量结果示于表 2。

表中角度数值代表测试方位, ΔH 代表某一方向上的弯曲度的值(凹凸之间的高度差), ΔH_1 是在常压下测出的 ΔH 值, ΔH_2 是样品被吸紧在测试平台上(抽气至 60mmHg)测出的 ΔH 值, ΔH_2 的测试条件更接近实际生产中光刻工艺的要求。从表 2 列举的数据表明, 经过红外瞬态退火以后样品的 ΔH_1 与 ΔH_2 的值等于或小于退火前的值。也就是说经过红外瞬态退火后样品的弯曲度略有改善。因此在集成电路技术中采用红外瞬态退火技术不会给光刻工艺带来任何麻烦。为了更直观的观察红外瞬态退火引起的样品弯曲度变化情形, 比较了退火前后样品弯曲的形状(波形), 如图 3(见图版 I) 所示。

4. 掺磷二氧化硅 (PSG) 的回流

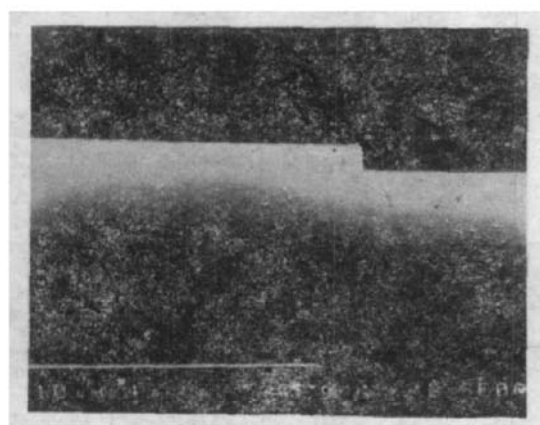
实验表明, 对样品进行红外瞬态退火的同时可以实现 PSG 的回流。在 1080℃, 8 秒的条件下红外瞬态退火后, 含磷量为 6% 的 PSG 的回流情况示于图 4。

图 4 中(a), (c)是断面图; (b), (d) 是斜上方的俯视图。可以看出红外瞬态退火的同时使原来陡峭的 PSG 台阶变缓了, 实现了 PSG 的回流。实验发现, 含磷量不同的 PSG 实现回流的条件也不一样。含磷 1% 的 PSG 即使在 1200℃, 8 秒的条件下也没有实现回流。在此条件下退火后可以使含磷 3% 的 PSG 有一定的回流效果, 但是回流效果不明显。含磷量过高(如 8%) 的 PSG 与光刻胶的粘附不良, 无法光刻。

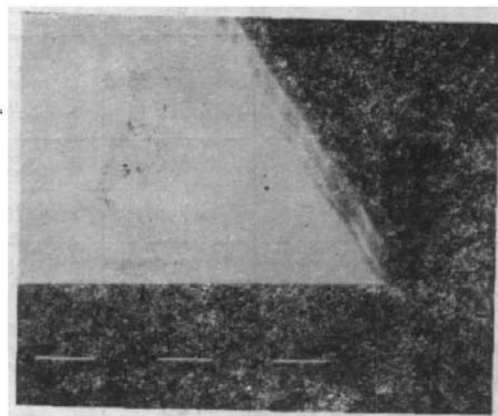
5. 红外瞬态退火引起注入杂质的侧向扩散

红外瞬态退火的样品中注入杂质的分布向纵向扩展很小^[8]; 实验证明注入杂质的侧向扩散也很少。图 5 比较了红外瞬态退火与常规热退火引起的杂质的侧向扩展情况。

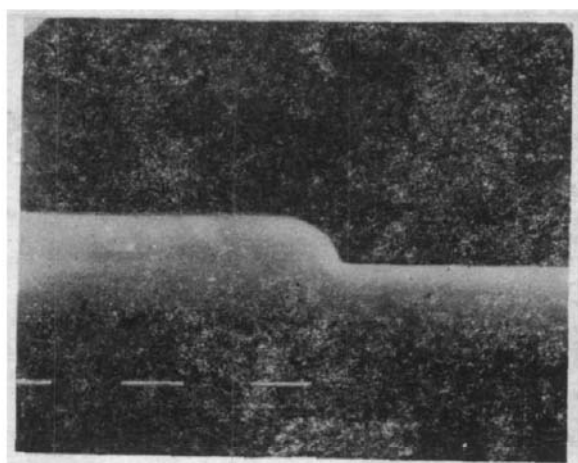
图 5 是红外退火(1080℃, 8 秒)和常规热退火(1046℃, 20 分钟)的注砷 ($7 \times 10^{13}/$



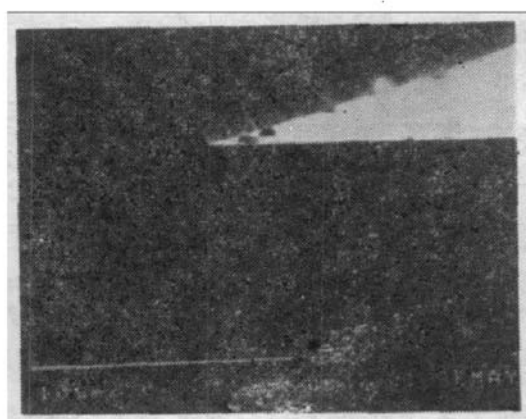
(a)



(b)



(c)



(d)

图4 红外瞬态退火前后 PSG 的照片。

(a) 放大 5000 倍 (b) 是退火前的照片放大 1 万倍, (c) 放大 1 万倍 (d) 是退火后的照片放大 5000 倍

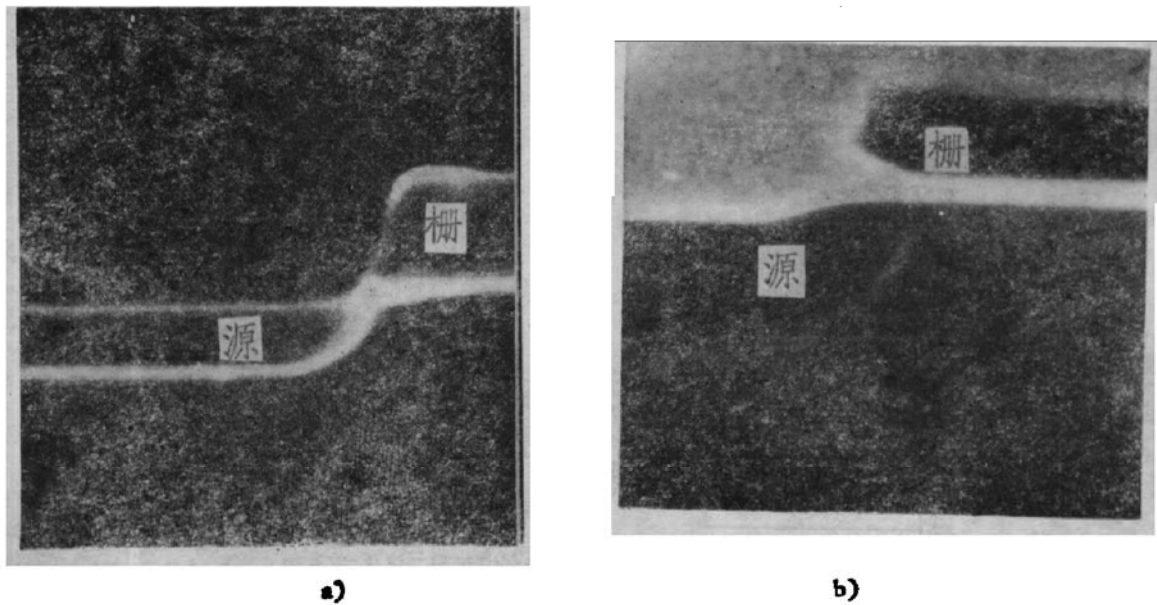


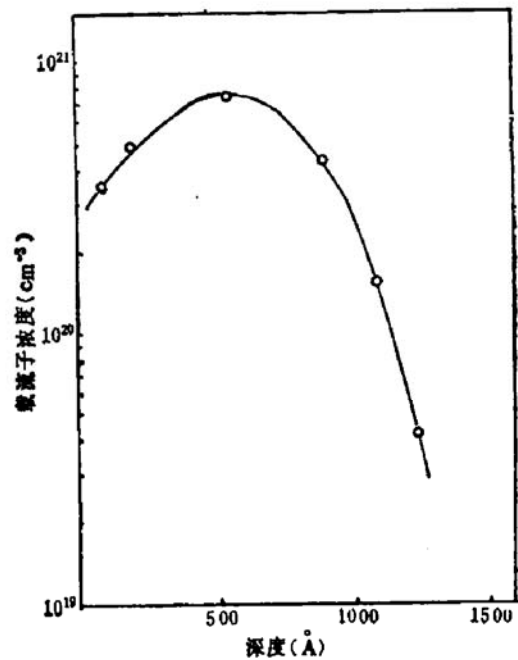
图5 MOSFET 的剖面 SEM 照片(放大3万倍)

a) 红外瞬态退火; b) 常规热退火

cm^2 , 100keV) MOSFET 的剖面照片。两种退火样品的侧向扩散深度相差近 $3000 \text{ \AA}$ 。杂质侧向扩散的减少, 不仅能大大减少了栅与源之间的叠交电容, 而且对制造短沟 MOSFET 是非常有利的, 以后的实验证实了这一点。

6. 红外瞬态退火制备的浅 pn 结

在 $30-35 \text{ ncm}$ 的 P 型 $\langle 100 \rangle$ 硅中注砷 ($4 \times 10^{15} / \text{cm}^2$, 100keV), 经过红外瞬态退火 (1080°C , 8 秒), 获得了良好浅 pn 结。这种 pn 结注入区载流子的分布(纵向)示于图 6。从图中推出, 这种 pn 结的结深约 $3000 \text{ \AA}$ 左右, 注入区的载流子浓度高于 10^{20} 。因此它是具有高掺杂浓度的浅结。它的反向漏电流非常低, 当反向电压为 5 伏时, 反向漏电流为 $3 \times 10^{-12} \text{ A}$ (结面积是 $80 \mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$)。

图6 注砷 PN 结注入区的载流子分布 AS: $\langle 100 \rangle \text{Si}$, 100keV, $4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 红外退火 (1080°C , 8 秒)

三、红外瞬态退火的全注入短沟 MOS 工艺

在常规 MOS 工艺的基础上, 引入红外瞬态退火技术形成了红外瞬态退火制造短沟 MOSFET 的工艺。其流程图示于图 7。与常规的 MOS 工艺相比, 可以看出这两种工艺兼容性很好, 这非常有利于在集成电路技术中推广应用红外瞬态退火技术。在图 7 所示

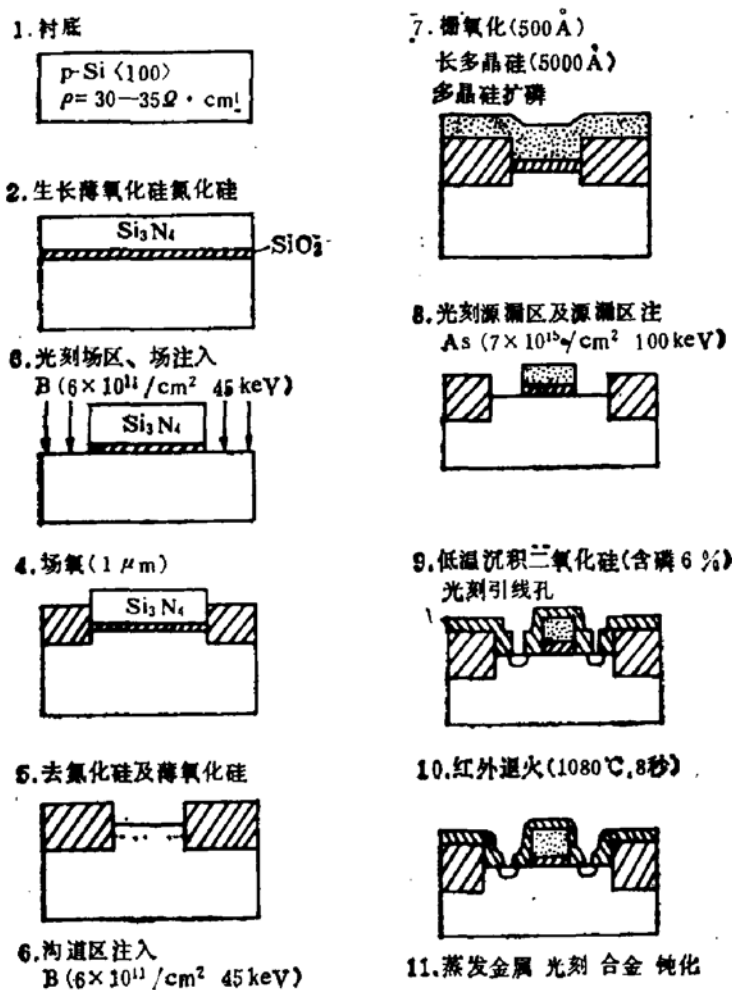


图 7 红外瞬态退火制备 MOSFET 的工艺流程示意图

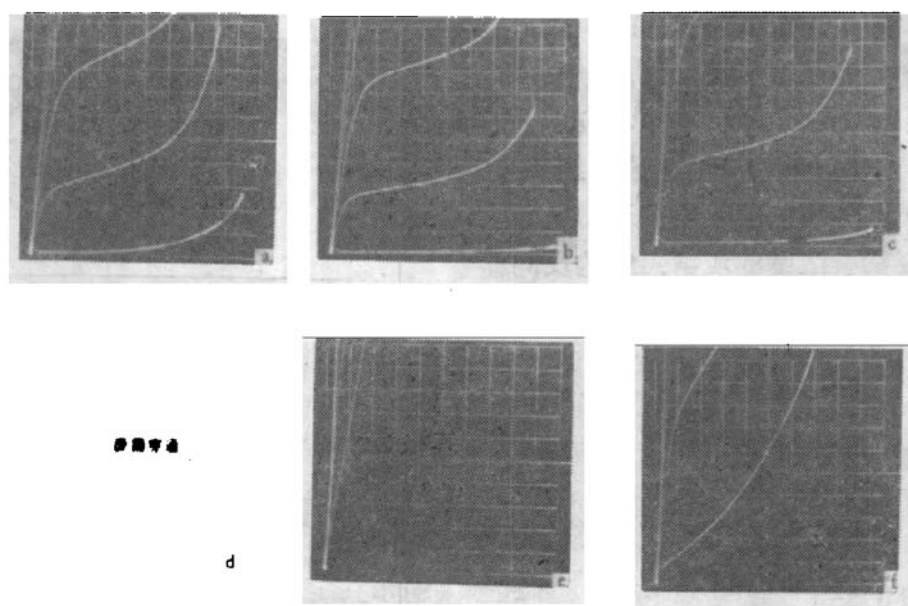


图 8 短沟 MOSFET 的输出特性

a) b) c) 是红外瞬态退火样品, 沟长依次是 $1 \mu\text{m}$, $1.5 \mu\text{m}$, $2 \mu\text{m}$
d) e) f) 是常规热退火样品, 沟长依次是 $1 \mu\text{m}$, $1.5 \mu\text{m}$, $2 \mu\text{m}$

的工艺流程中, 红外瞬态退火放在蒸发金属电极前一步, 这样在退火之后不再有高温加工工序。其目的是为了防止亚稳态载流子浓度的下降^[10]。

图 8 中的沟长指的是掩膜版尺寸。红外瞬态退火的条件是 1080°C , 8 秒; 常规热退火的条件是 1046°C , 20 分钟。x 轴是源漏电压, 每格 1 伏; y 轴代表漏电流, 每格 0.1mA ; 每条曲线相差 1 伏, 最下边的一条曲线栅电压为 0 伏。由图 8 可以看出, 红外瞬态退火制备的 $1\mu\text{m}$ 沟长的 MOSFET 就有良好的输出特性, 而常规热退火制备的 $2\mu\text{m}$ 沟长的 MOSFET 的输出特性仍然不理想。上述输出特性的差异主要是由于两种退火方法引起源漏区注入杂质的侧向扩散深度不同所造成的。红外瞬态退火制备 $1\mu\text{m}$ 沟长的 MOSFET 的成品率是非常高的, 它的次开启电流也很小, 当 $V_D = 3$ 伏时次开启电流小于 10^{-12}A 。 $1\mu\text{m}$ 沟长的 MOSFET 的次开启电流与栅压的关系示于图 9。

用红外瞬态退火制备的 $3\mu\text{m}$ 沟长的 23 级环振器每级门平均延迟 1ns ; $2\mu\text{m}$ 沟长的 43 级环振器每级门平均延迟 0.6ns 。

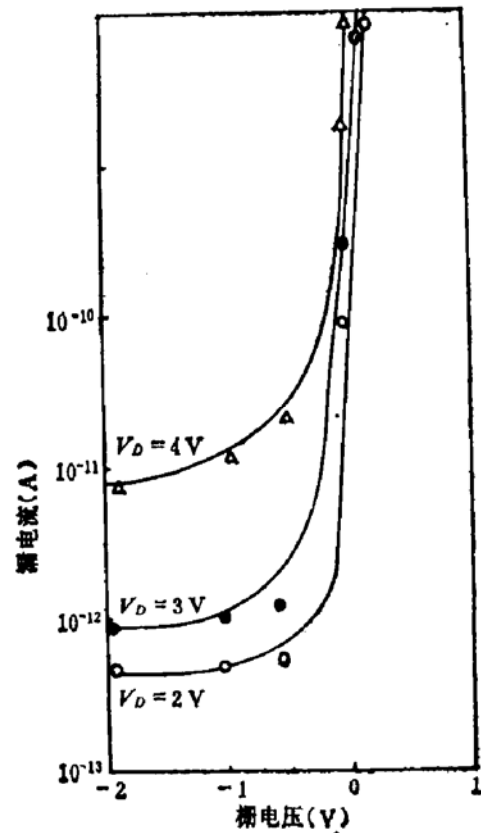


图 9 不同源漏电压下, $1\mu\text{m}$ 沟长 MOSFET 次开启电流与栅压的关系

四、结 束 语

从上述实验结果表明, 红外瞬态退火技术适于制造短沟 MOSFET, 因而在超大规模集成电路技术中有广泛的应用前景。同时在全注入双结型半导体器件与二元或多元化合物半导体器件制造中都会有实用价值。

本工作在李志坚教授的指导下进行, 常规工艺由本所工艺组完成, 田立林同志作了少子寿命的测试分析, 掺磷二氧化硅层由 878 厂的经亦亭等同志制备, 对此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] G. A. Kachurin and E. V. Nidaev, *Sov. Phys. Semicond.*, **11**, 1178 (1977).
- [2] E. I. Shtykrov, I. B. Khaibullin, M. M. Zaripov, M. F. Galyatudinov, and R. M. Bayazitov, *Sov. Phys. Semicond.*, **9**, 1309 (1976).
- [3] A. V. Dvurechensky, G. A. Kachurin and A. Kh. Antonenko, *Radiation Effects*, **37**, 179 (1978).
- [4] A. Gat and J. F. Gibbons, *Appl. Phys. Lett.*, **32**, 142 (1978).
- [5] 钱佩信、林惠旺、陆永枫和李冬梅: “高浓度注入硅的连续氩离子激光退火研究”(待发表)
- [6] P. H. Tsien, J. Götzlich, H. Ryssel and I. Ruge, *J. Appl. Phys.*, **53**, 663 (1982).
- [7] P. H. Tsien, S. C. Tson, M. Takai, D. Röschenhaler, M. Ramin, H. Ryssel, I. Ruge and K. Witmaack, *Phys. Stat. Sol.*, (a) **63**, 547 (1981).

- [8] 侯东彦、钱佩信、李志坚, 半导体学报, 4, 579(1983).
[9] D. J. Lischner and G. K. Celler, in *Leser and electron-beam interactions with solids*, B. R. Appleton and G. K. Celler eds. (North Holland, New York, 1982) p. 759.
[10] 徐立、钱佩信、侯东彦、林惠旺、李志坚: “瞬态退火注砷硅亚稳态浓度的后热处理特性研究”, 半导体学报, 待发表.

Full Ion Implanted MOS Technology Using Infrared Transient Annealing

Hou Dongyan, Ma Tengge, Chen Bixian and Tsien Peihsin
(*Institute of Microelectronics, Tsinghua University*)

Abstract

A new infrared transient annealing technique has been developed. This technique seems well compatible with the conventional MOS technology. In this paper a full ion implanted MOS technology using this annealing technique is described. By this new technology a $1\mu\text{m}$ channel length MOSFET with satisfactorily electric characteristics has been made. A 23 stage ring oscillator with $3\mu\text{m}$ channel length MOSFET and a 43 stage ring oscillator with $2\mu\text{m}$ channel length have also been implemented in this way. The delay time per gate are 1 ns and 0.6 ns respectively.