

ICS 29.045
H 80



中华人民共和国国家标准

GB/T 13389—2014
代替 GB/T 13389—1992

GB/T 13389—2014

掺硼掺磷掺砷硅单晶电阻率与 掺杂剂浓度换算规程

Practice for conversion between resistivity and dopant density for boron-doped,
phosphorus-doped, and arsenic-doped silicon

中华人民共和国
国家标准
掺硼掺磷掺砷硅单晶电阻率与
掺杂剂浓度换算规程

GB/T 13389—2014

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

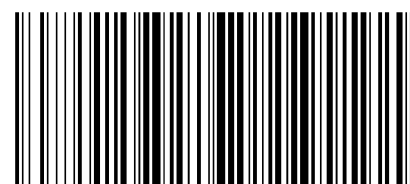
*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 49 千字
2015年1月第一版 2015年1月第一次印刷

*

书号: 155066·1-50710 定价 30.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 13389-2014

2014-12-31 发布

2015-09-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

参 考 文 献

- [1] Thurber, W.R., Mattis, R.L., Liu, Y.M., and Filliben, J.J., "Resistivity-Dopant Density Relationship for Phosphorus-Doped Silicon," J.Electrochem.Soc.127, (1980): pp.1807-1812
- [2] Thurber, W.R., Mattis, R.L., Liu, Y.M., and Filliben, J.J., "Resistivity-Dopant Density Relationship for Boron-Doped Silicon," J.Electrochem.Soc.127, (1980): pp.2291-2294
- [3] Thurber, W.R., Mattis, R.L., Liu, Y.M., and Filliben, J.J., Semiconductor Measurement Technology, "Relationship Between Resistivity and Dopant Density for Phosphorus-and Boron-Doped Silicon," NBS Special Publication 400-64 (April 1981)
- [4] Esaki, L., and Miyahara, Y., "A New Device Using the Tunneling Process in Narrow p-n Junction," Solid-State Electron.1, (1960): pp.13-21
- [5] Fair, R.B., and Tsai, J.C.C., "A Quantitative Model for the Diffusing of Phosphorus in Silicon and the Emitter Dip Effect," J.Electrochem.Soc.124, (1977): pp.1107-1118
- [6] Fair, R.B., and Tsai, J.C.C., "The Diffusion of Ion-Implanted Arsenic in Silicon," J.Electrochem.Soc.122, (1975) p.1689
- [7] Blakemore, J.S., Semiconductor Statistics (Dover Publications, New York, 1987) § 3.3
- [8] Newman, P.F., Hirsch, M.J., and Holcomb, D.F., "A Calibration Curve for Room-Temperature Resistivity versus Donor Atom Concentration in Si:As," J.Appl.Phys.58, (1985): p.3779
- [9] Masetti, G., Severi, M., and Solmi, S., "Modeling of Carrier Mobility Against Carrier Concentration in Arsenic-, Phosphorus-, and Boron-Doped Silicon," IEEE Trans.Elec.Dev.ED-30, (1983): p.764
- [10] Furukawa, Y., "Impurity Effect Upon Mobility in Heavily Doped Silicon," J.Phys.Soc., Japan 16, (1961): p.577
- [11] Murota, J., Arai, E., Kobayashi, K., and Kudo, K., "Relationship Between Total Arsenic and Electrically Active Arsenic Concentrations in Silicon Produced by the Diffusion Process," J. Appl.Phys.50, (1979): p.804
- [12] Matsumoto, S., Niimi, T., Murota, J., and Arai, E., "Carrier Concentration and Hall Mobility in Heavily Arsenic-Diffused Silicon," J.Electrochem.Soc.127, (1980): p.1650
- [13] Irvin, J.C., "Resistivity of Bulk Silicon and of Diffused Layers in Silicon," Bell System Tech.J.41, (1962): pp.387-410

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 13389—1992《掺硼掺磷硅单晶电阻率与掺杂剂浓度换算规程》，参照 SEMI MF723-0307《掺硼掺磷掺砷硅单晶电阻率与掺杂剂浓度换算规程》对 GB/T 13389—1992 进行修订。

本标准与 GB/T 13389—1992 相比,主要有以下变化:

- 增加了公式(5)、(6)、(7),即砷的掺杂剂浓度换算电阻率、掺硼硅单晶电阻率换算空穴浓度和掺磷硅单晶电阻率换算电子浓度的公式以及相应的适用范围;
- 由于所有公式都是经验公式或是试验结果,因此本标准中给出了公式的试验依据以便于使用者更好地了解和使用这些换算规程;
- 增加干扰因素(见第6章);
- 增加了附录和参考文献。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会(SAC/TC 203)和全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分会(SAC/TC 203/SC 2)共同提出并归口。

本标准起草单位:有研半导体材料股份有限公司、四川新光硅业科技有限责任公司、中国计量科学研究院、浙江省硅材料质量检验中心、杭州海纳半导体有限公司、浙江金瑞泓科技股份有限公司、西安隆基硅材料股份有限公司。

本标准主要起草人:孙燕、梁洪、高英、楼春兰、张静、王飞尧、曹孜、何良恩、张海英、张群社。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 13389—1992。

附录 B
(资料性附录)
IRVIN 的比较试验

B.1 Irvin 报告了 300 K 的 N 型和 P 型硅单晶电阻率与掺杂剂浓度间的换算关系(导电类型的测试方法详见 GB/T 1550),并且用杂质浓度代替掺杂剂浓度。Irvin 的分析是基于几个在硅中施主和受主的数据,这数据是由 Irvin 在重掺砷和重掺硼样品上补充。

B.2 所有样品都是假定没有补偿的,但实际上在直拉单晶中因为氧的热激活,补偿的可能性是公认的。

B.3 Irvin 对 N 型和 P 型硅单晶提供的数据的一系列线性近似拟合,得到式 B.1:

$$\rho = (1/BN_i^\alpha) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

ρ ——电阻率,单位为欧姆厘米($\Omega \cdot \text{cm}$);

N_i ——净施主或受主浓度,单位为每立方厘米(cm^{-3});

α 和 B 分别是在表 B.1 和表 B.2 中对 N 型和 P 型硅单晶给出的各种掺杂范围。

表 B.1 N 型硅单晶的 α 和 B 常数数值

净施主掺杂剂范围 cm^{-3}	α	B
$2.35 \times 10^{20} \leq N_D$	0.456	1.04×10^{-6}
$6 \times 10^{19} \leq N_D \leq 2.35 \times 10^{20}$	0.744	1.43×10^{-12}
$9.5 \times 10^{18} \leq N_D \leq 6 \times 10^{19}$	0.940	2×10^{-16}
$1 \times 10^{17} \leq N_D \leq 9.5 \times 10^{18}$	0.543	6.93×10^{-9}
$3.5 \times 10^{15} \leq N_D \leq 1 \times 10^{17}$	0.837	6.97×10^{-14}
$N_D \leq 3.5 \times 10^{15}$	1	2×10^{-16}

表 B.2 P 型硅单晶的 α 和 B 常数数值

净受主掺杂剂范围 cm^{-3}	α	B
$1.5 \times 10^{19} \leq N_A$	0.966	-4×10^{-17}
$2.4 \times 10^{18} \leq N_A \leq 1.5 \times 10^{19}$	0.832	1.47×10^{-14}
$1.5 \times 10^{16} \leq N_A \leq 2.4 \times 10^{18}$	0.650	3.30×10^{-11}
$N_A \leq 1.5 \times 10^{16}$	1	7.20×10^{-17}

B.4 由 Irvin 在图 B.1 中给出的是依据实践给出的换算与通过掺杂剂给出的电阻率间的比较。其中的曲线是由公式 B.1 得到电阻率,通过式(4)或式(2)从掺杂剂浓度计算电阻率,计算两者间的差异,然后将这些差异绘出。

掺硼掺磷掺砷硅单晶电阻率与
掺杂剂浓度换算规程

1 范围

本标准规定了掺硼、掺磷、掺砷硅单晶电阻率与掺杂剂浓度之间的换算关系,该换算关系也适用于掺锑硅单晶,还可扩展至硅中激活能与硼、磷相似的其他掺杂剂。

本标准适用于掺硼浓度 $10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$,掺磷浓度 $3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$,掺砷浓度 $10^{19} \text{ cm}^{-3} \sim 6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 。对掺硼、掺磷的硅单晶掺杂剂浓度可扩展到 10^{12} cm^{-3} 。

本标准也可用于在 23 °C 下从硅单晶电阻率到载流子浓度的换算,但不包括对砷掺杂剂的载流子浓度换算,或任何其他载流子浓度的换算。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注明日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 1550 非本征半导体材料导电类型测试方法
- GB/T 1551 硅单晶电阻率测定方法
- GB/T 4326 非本征半导体单晶霍尔迁移率和霍尔系数测量方法
- GB/T 14264 半导体材料术语

3 术语和定义

GB/T 14264 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自相容性误差 the self-consistency errors

电阻率与掺杂剂浓度之间的换算公式或表格,是以其中一个为变量,拟合实验数据推导出另一个变量,当使用不同的变量时会产生两个互为补充的公式,例如公式(1)和(2),公式(3)和(4)。由于这些公式在数学上并不完全等价,因此在使用由此推导出来的公式或表格时将产生微小的差异,该差异称为自相容性误差。

4 方法提要

电阻率与掺杂剂浓度之间的相互换算是基于掺硼、掺磷硅单晶中两者间的综合经验数据得到的,并将其扩展到硅中具有相似激活能的其他掺杂剂,根据相同的方法也给出了电阻率与载流子浓度的换算关系。本标准中将该换算关系表示为公式、曲线以及表格的形式,应用时请特别注意不同公式的适用范围以及相应的误差。

注 1: 本标准掺硼、掺磷的换算最初是基于 Thurber et al^{1,2,3}的数据,是在($3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)的掺磷硅单晶和($10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)的掺硼硅单晶中获得的。磷数据基于 Esaki 和 Miyahara⁴的两个块状样品数据, Fair 和 Tsai⁵的磷扩散样品数据被用于将数据点扩展到 10^{20} cm^{-3} 以上。在 10^{12} cm^{-3} 以下增加的虚线部