

S.P.Murarka 著 赵英 译

# 硅化物及其在超大规模 集成电路中的应用



南开大学出版社

## 内 容 提 要

美国贝尔电话实验室S. P. Murarka博士所著本书是目前国内外唯一地论述硅化物及其应用的专著。本书全面系统地论述了硅化物的性质及其在超大规模集成电路中的各种应用。全书共分七章：第一章讨论硅化物在MOS器件和作为肖特基势垒器件及结型器件接触中的应用；第二章讨论各种硅化物的性质；第三、四章讨论金属—硅系统中决定化合物的形成和稳定性的热力学和动力学因素；第五章讨论硅化物的氧化；第六章介绍用硅化物作金属化的集成电路的制造；第七章介绍浅的硅化物接触及制作方法、外延硅化物，并预示了硅化物的集成电路新应用。

本书内容新颖、充实、工艺性和实用性强，着眼于硅化物在超大规模集成电路中的各种实际应用，是从事大规模和超大规模集成电路的科技工作者、工程师及大专院校有关专业的教师、本科生、研究生的一本有实用价值的参考书。

## 硅化物及其在超大规模 集成电路中的应用

S. P. Murarka 著

赵 英 译

---

南开大学出版社出版

〔天津八里台南开大学校内〕

新华书店天津发行所发行

天津大港报刊印刷厂印刷

---

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| 1987年6月第1版             | 1987年6月第1次印刷 |
| 开本：850×1168 1/32       | 印张：6.25      |
| 字数：134千                | 印数：1—7000    |
| ISBN7—310—00046—3/TN·3 |              |
| 统一书号：13301·9           | 定价：1.30元     |

## 译者前言

随着集成电路规模的日益增大，器件尺寸必须按比例缩小，线宽也要相应变窄。但由于当前可获得的多晶硅的薄层电阻为30到40 $\Omega/\square$ ，故器件尺寸进一步缩小的优点会被内部互连线的电阻所抵消。因此，必须寻求合适的替代物，以改进电路的速度。

由于硅化物，特别是难熔金属硅化物，具有类似于金属的低电阻率（约为掺杂多晶硅的十分之一）和高温稳定性，故近年来对它们的研究兴趣一直在增加着。就译者所知，目前，美国许多从事超大规模集成电路开发的公司和大学都投入了不少的人力和物力进行这方面的研究工作，其中尤以 $\text{WSi}_2$ 、 $\text{TaSi}_2$ 、 $\text{TiSi}_2$ 和 $\text{MoSi}_2$ 的研究进展最快，已经初步达到或接近实用阶段。可以预期，在不久的将来，超大规模集成电路的生产将会广泛采用硅化物工艺。在这方面，已经发表了许多研究论文和评论性文章。但是，在1983年间世的《硅化物及其在超大规模集成电路中的应用》这类公开出版的论述硅化物的专著还是头一本。

本书比较全面系统地介绍了各种硅化物，特别是难熔金属硅化物和贵金属硅化物的性质和制作方法，探讨了它们在超大规模集成电路中作为栅、内部互连线以及浅的低电阻接触的可应用性，总结了当前对硅化物研究所取得的成果，并指出了仍然存在的各种问题和今后研究的方向。因此，本书对于从事半导体材料和集成电路实际工作的工程师、研究人员和生产人员、高等学校有关专业的教师、研究生和大学生，都是一本较完备的研究硅化物的参考书。

南开大学王家骅同志对本书进行了详细的审阅，在此谨表示衷心的感谢。

由于译者水平所限，译文如有不妥或错误之处，恳请读者批评指正。

译者

1984年7月

# 目 录

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| 序 .....                             | ( 1 )   |
| <b>第一章 引言</b>                       |         |
| A 概论 .....                          | ( 3 )   |
| B MOS器件——栅和内部互连线级的RC延迟<br>和速度 ..... | ( 6 )   |
| C 肖特基势垒器件 .....                     | ( 16 )  |
| D 接触金属化和接触电阻 .....                  | ( 26 )  |
| <b>第二章 性质</b>                       |         |
| A 电阻率 .....                         | ( 31 )  |
| B 电阻率的温度依赖性 .....                   | ( 46 )  |
| C 晶体结构 .....                        | ( 47 )  |
| D 应力 .....                          | ( 51 )  |
| E 化学反应能力 .....                      | ( 66 )  |
| <b>第三章 热力学考虑</b>                    |         |
| A 硅化物的形成热 ( $\Delta H_f$ ) .....    | ( 71 )  |
| B 二元相图和金属间化合物的形成 .....              | ( 77 )  |
| C 相互固溶性和扩散系数 .....                  | ( 87 )  |
| D 电迁移电阻 .....                       | ( 96 )  |
| <b>第四章 形成</b>                       |         |
| A 金属间化合物的形成——动力学 .....              | ( 98 )  |
| B 金属间化合物的形成——杂质的影响 .....            | ( 105 ) |
| C 硅化物的形成——实验技术 .....                | ( 114 ) |

|             |                    |         |
|-------------|--------------------|---------|
| <b>第五章</b>  | <b>氧化</b>          |         |
| A           | 概述 .....           | ( 129 ) |
| B           | 实验结果 .....         | ( 131 ) |
| C           | 氧化机理 .....         | ( 139 ) |
| D           | 硅化物上氧化层的介质击穿 ..... | ( 141 ) |
| <b>第六章</b>  | <b>集成电路制造</b>      |         |
| A           | 刻蚀图案 .....         | ( 146 ) |
| B           | 金属化 .....          | ( 150 ) |
| C           | 硅化物的工艺稳定性 .....    | ( 151 ) |
| <b>第七章</b>  | <b>特殊应用</b>        |         |
| A           | 浅硅化物接触 .....       | ( 156 ) |
| B           | 外延硅化物 .....        | ( 164 ) |
| C           | 富硅的二硅化物 .....      | ( 167 ) |
| D           | 数据库光学存储 .....      | ( 168 ) |
| <b>参考文献</b> | .....              | ( 169 ) |

# 序

由于贝尔电话实验室 H.J. Levinstein 和 S.M. Sze (史西蒙) 两位先生的建议, 我产生了写作“硅化物及其在超大规模集成电路中的应用”一书的念头。Kevinstein 博士曾经审阅了我为 **应用固体科学** (增补刊 2c, 硅集成电路) 所写的一章, 他感到这些材料很可以扩充为一本书。史西蒙博士也认为目前论述这方面的书一定会特别适合需要。自从本世纪初, 硅化物虽然以这样或那样的原因一直被研究着, 但这将是第一本专门论述它们的书。

由于硅化物在硅集成电路中作为低电阻率接触、栅和内引线金属化的可能用途, 近年来对它们的兴趣一直令人注目地增加着。随着超大规模集成电路 (VLSI) 的进展, 必然引起对过渡金属硅化物的密切注意, 即研究它们的热力学、电学和力学的性质以及它们在高温下的稳定性。于是, 本书就是由我的同事们和我本人在探讨和理解这些性质以及确定各种过渡金属硅化物用途的不断努力中逐渐演变而成的。“硅化物及其在超大规模集成电路中的应用”主要论述硅化物在高密度硅集成电路中的可应用性。本书是为从事实际工作的器件工程师、材料科学家以及初学者 (包括微电子学技术专业的学生们) 写的。本书并不想教给读者怎样应用硅化物来制造硅集成电路。本书假设读者已经具备集成电路制造方面的知识。本书只简单地提供了关于硅化物的最新情况并讲述它们对 VLSI 工艺的可应用性。

在某种程度上, 我个人的兴趣和偏爱决定了本书的内容。然而, 章节的组织则是据根不管以怎样的次序阅读都能适应读者的

特殊需要来安排的。

第一章讨论硅化物在MOS器件和作为肖特基势垒器件及结型器件接触中的应用。对于前者，尺寸的减小导致栅极RC值的增大；而对于后者，接触电阻很低的金属化则是必要的。因此讨论的题目包括MOS器件和RC时间常数，肖特基势垒高度和经验公式，以及接触电阻。

第二章着眼于硅化物的性质。本章中描述了硅化物的电阻率、晶体结构、应力和化学活动性。本章也讨论了常规测量薄膜电阻率和应力的方法。

第三和第四章描述在金属-硅系统中决定化合物的形成和它们的稳定性的热力学和动力学因素。第四章也考虑了杂质在金属间化合物形成过程中的作用，并对各种常规硅化物形成的实验方法作了比较。

第五章涉及硅化物的氧化、氧化机理以及氧化的稳定性。它表明大多数硅化物都能在可控的氧化条件下被氧化而形成具有适当介质击穿特性的绝缘层。第六章检验了用硅化物作金属化的集成电路的制造。对于硅化物腐蚀的讨论则是粗糙的，因为这方面公开发表的数据不够充分。第七章描述浅的硅化物接触及制作方法、外延硅化物并预示了硅化物在集成电路方面的新应用。

本书一部分题材选自已有的研究报告和综合性的评论文章。我并不想引证全部公开发表的论文。读者可以从查阅所列的参考文献中方便地找到它们。我只是企图给出有关硅化物最新知识的一个合理的完整图象。本书难免强调了贝尔实验室在这方面所作的研究和发展工作。我随意地将我自己的意见加了进去，它们中的许多部分尚未得到验证，也许在将来还要改变。我希望本书将对工艺工程师、材料科学家、大学生以及对硅化物感兴趣的读者有所裨益。

S. P. Murarka



# 第一章 引言

## A. 概 论

自从Moissan研制出电炉以来(1),金属硅化物就一直吸引着科学界的好奇和注意。在前后两个世纪交接的时期,他可能是第一位系统制备各种硅化物的人。硅化物的研究(2-19)可按下述几个主要方面分类:(a)许多难熔硅化物高温稳定性的研究;(b)根据元素和化合物的电子和晶体结构了解硅化物的物理性质;(c)硅化物作为集成电路中的肖特基势垒和欧姆接触的研究;(d)硅化物作为栅和内引线的低电阻率金属化的研究。

超大规模集成电路(VLSI)的原动力产生于更小(大的封装密度,从而增加了管芯的复杂性)的和更快的器件以及较小的功耗。越来越小的器件的不断进展重新引起了研制新的低电阻率栅、内引线和欧姆接触的金属化方案的兴趣。器件尺寸的缩小、线宽变窄和薄层电阻对RC延迟的贡献的增大(见节B)是产生研制新金属化兴趣的原因。由于当前可获得的多晶硅薄层电阻为30到60 $\Omega/\square$ ,故器件尺寸进一步减小的优点被栅级(gate level)内引线电阻所抵消。表1列出了由于这种或那种原因,使得大多数金属不能作为多晶硅直接替代物的那些性质。对于栅和内引线金属化,所提到的这些金属中以铝(20)、钨(21, 22)和钼(21, 22)最值得注意。然而,铝的使用要求器件所有的后道工序限制在非常低的温度下,最好低于500°C。使用难熔金属钨和钼

则要求将这些金属与氧化环境完全隔离（见第三章和第五章），淀积过程必须不会在栅氧化层中引入所不希望的陷阱，并且要求对这些金属进行可靠的腐蚀以产生所要求的图形。与这些金属膜的稳定性相关联的上述不确定因素导致了对替代物的研究。

表1. 不适用于VLSI的若干金属的性质

| 所不希望的性质                                                             | 金属                                                        |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 低共熔温度 ( $< 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ )                           | Au、Pd、Al、Mg                                               |
| 中等共熔温度 ( $800\text{—}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )                | Ni、Fe、Ag、Cu                                               |
| 在硅中具有高扩散系数                                                          | 全部金属                                                      |
| 氧化速率高、氧化稳定性差                                                        | 难熔金属，稀土元素，Mg、Fe、<br>Cu、Ag、                                |
| 低熔点                                                                 | Al、Mg                                                     |
| 在低于 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下与衬底或多晶硅起反应                       | Pt、Pd、Rh、V (?)、Mo (?)、<br>Cr (?)                          |
| 在高达 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下可与衬底或多晶硅起反应和 $\text{SiO}_2$ 起反应 | 全部金属<br>Hf、Zr、Ti、Ta、Nb、V、Mg <sup>b</sup> 、Al <sup>b</sup> |
| 化学稳定性差，特别是在含HF的溶液中                                                  | 难熔金属，Fe、Co、Ni、Cu、<br>Mg、Al                                |
| 可腐蚀性差                                                               | Pt、Pd、Ni、Co、Au                                            |
| 电迁移问题                                                               | Al                                                        |
| 由内扩散造成的接触尖峰                                                         | Al                                                        |

a. 器件制造过程的最后工序中高温的典型值。

b. 和 $\text{SiO}_2$ 作用形成的金属氧化物本身又限制了进一步的相互作用。

硅化物之所以被重视是由于它们具有低的类似于金属的电阻率（见第二章）和高温稳定性（见第二、三、五和六章）。使用电阻率约为多晶硅的十分之一（或更低）的硅化物必定能改进电路的速度。由于下述原因，硅化物作为栅和内引线金属化的材料是令人瞩目的：所期望的较高的电迁移电阻(第三章)和直接在多晶

硅上形成硅化物的可能性。这样就保存了基本的多晶硅MOS栅(书B),同时降低了电阻。

缩小器件尺寸也意味着减小结深,但却产生了接触问题。特别是由于众所周知的铝在硅中的穿透性,浅结(第七章)就限制了铝的使用。通过硅衬底和一薄层金属之间的反应而在接触窗口形成硅化物,提供了形成低电阻接触的可能(节C)。直接在接触窗口淀积硅化物的可能性就能保持浅结的优点。而若用金属与硅反应形成硅化物的常规方法,浅结就可能被硅化物穿透(第七章)。

Lepselter (9)在贝尔实验室首先用硅化物作肖特基势垒(节C.1)并且Kahng和Lepselter(10)首先论证了这一应用。二十年来关于这方面的论文很多,我们建议读者看几篇评论性文章(8-13)。在纯金属膜和硅之间进行冶金学反应而生成的硅化物可以用作非常可靠且可重复的肖特基势垒,在n型硅上,其势垒高度由 $ZrSi_2$ 的0.55eV到 $IrSi_3$ 的0.94eV(23)。这些硅化物的性质之所以可靠且可重复,是由于金属-硅反应生成的硅化物在硅化物-硅界面不存在表面缺陷和沾污。类似地,硅化物-硅接触的形成,获得了原子数量级上清洁的表面,从而避免了接触性质的可变性。假如表面被沾污或具有缺陷,这种可变性就会发生。 $PtSi$ 是这方面最有用的硅化物。

除了所希望有的低电阻率外,硅化物金属化方案的可用性取决于它们是否能够容易地形成(第四章)和被刻蚀出所需的图形(第二和第六章)以及在整个器件工序和实际器件使用过程中这些硅化物的稳定性(第六章)。表2列出了用于集成电路的硅化物应具有的性质。用于栅和内引线的硅化物必须满足所有这些要求,然而所有的硅化物都不具有这些特性。但是,因为接触是在整个工艺的最后阶段形成的,所以用作接触的硅化物并不需要满足所有这些要求。

**表2. 集成电路用硅化物所期望具有的性质**

- 
1. 低电阻率
  2. 易形成
  3. 易刻蚀成图形
  4. 在氧化环境中应稳定；可氧化
  5. 机械稳定性好，粘附性好，应力低
  6. 表面光滑
  7. 在整个工艺过程中的稳定性，包括高温烧结、干氧和湿氧氧化、除气、磷硅玻璃（或任何其它材料）钝化、金属化。
  8. 不和最后工序中的金属铝起反应
  9. 不污染器件、硅片或工作设备
  10. 良好的器件特性和寿命
  11. 对于窗口接触，要具有低接触电阻和最小的结穿透
- 

周期表中一半以上的元素可与硅起反应而生成一种或多种硅化物。图1示出了所有的硅化物。其中我们特别感兴趣的是ⅣA、ⅤA和ⅥA族的硅化物（它们称作难熔金属硅化物）以及Ⅷ族元素的硅化物（近贵金属硅化物）。注意到，当一薄层金属膜和硅或多晶硅衬底起反应时，每一种硅化物并不能都形成（12），故可将上述硅化物的大表进一步缩小。最后，我们必须考虑到硅的藏量几乎是无限的，并且在当前900°C或更高的器件工艺温度下只有富硅的硅化物形成。幸好它们是最稳定的硅化物。表3列出了我们所感兴趣的这些硅化物以及在这些金属-硅系统中最低的共熔温度（24-27）。显然，钽、铂和镍的硅化物分别不适宜于温度超过700、800和900°C的工艺过程。

|    |    |     |    |   |    |   |
|----|----|-----|----|---|----|---|
| BI | II | III | IV | V | VI | 0 |
|----|----|-----|----|---|----|---|

|                    |                                                             |                                          |                             |                     |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|
|                    | B <sub>5</sub> Si<br>B <sub>4</sub> Si<br>B <sub>3</sub> Si | C Si<br>N <sub>6</sub> Si <sub>9</sub>   | O Si<br>O <sub>2</sub> Si   | F <sub>8</sub> Si   |
|                    |                                                             | si                                       | P Si                        | Cl <sub>6</sub> Si  |
|                    |                                                             | Au <sub>2</sub> Si<br>As <sub>3</sub> Si | S <sub>8</sub> Si           | Br <sub>10</sub> Si |
|                    |                                                             |                                          | Ta <sub>3</sub> Si<br>Te Si | I <sub>8</sub> Si   |
|                    |                                                             |                                          |                             |                     |
|                    |                                                             |                                          |                             |                     |
| Cu <sub>3</sub> Si |                                                             |                                          |                             |                     |

|    |     |      |    |    |     |      |      |
|----|-----|------|----|----|-----|------|------|
| IA | IIA | IIIA | IV | VA | VIA | VIIA | VIII |
|----|-----|------|----|----|-----|------|------|

[illegible]

|                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| CeO <sub>2</sub> Si             | Pr <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> | Nd <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> | Sm <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> | Gd <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> | Dy <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> | Er <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> | Yb <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> | Lu <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> |
| Ce <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| CeSi                            |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| CeSi <sub>2</sub>               |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| Th <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> |                                 | U <sub>2</sub> Si <sub>2</sub>  | Pu <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| ThSi                            |                                 | USi                             | NpSi <sub>2</sub>               |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
| ThSi <sub>2</sub>               |                                 | U <sub>2</sub> Si <sub>2</sub>  | Pu <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
|                                 |                                 | USi <sub>2</sub>                |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
|                                 |                                 | USi <sub>3</sub>                |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |

图1. 周期表中元素的硅化物(3)

表3、某些感兴趣的硅化物的最低共熔温度

| 硅化物                             | 最低的两相共熔温度和组分 |          |
|---------------------------------|--------------|----------|
|                                 | 温度 ( °C)     | 组分 (含%硅) |
| TiSi <sub>2</sub>               | 1330         | 86       |
| ZrSi <sub>2</sub>               | 1355         | 90       |
| HfSi <sub>2</sub>               | 1300         | 91.8     |
| VSi <sub>2</sub>                | 1385         | 97       |
| NbSi <sub>2</sub>               | 1295         | 95       |
| TaSi <sub>2</sub>               | 1385         | 99       |
| CrSi <sub>2</sub>               | 1300         | 87       |
| MoSi <sub>2</sub>               | 1410         | 97       |
| WSi <sub>2</sub>                | 1440         | 99.2     |
| FeSi <sub>2</sub>               | 1208         | ~73      |
| CoSi <sub>2</sub>               | 1195         | 23       |
| NiSi <sub>2</sub>               | 966          | 46       |
| Ru <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> | 1370         | 83       |
| RhSi                            |              |          |
| Pd <sub>2</sub> Si              | 720          | 45       |
| ReSi <sub>2</sub>               | 1125         | ~90      |
| OsSi <sub>2</sub>               |              |          |
| IrSi <sub>3</sub>               |              |          |
| PtSi                            | 830          | 23       |

上述这些考虑缩小了选择富硅的硅化物的范围，它们可分为两组：难熔金属硅化物及近贵金属和贵金属硅化物。表4 比较了这两组硅化物。显然每组都是独特的。通过将这些硅化物的性质与硅集成电路工艺所要求的性质（表2）相比较，我们发现难熔金属硅化物适宜作栅金属化，另一方面，Ⅷ族金属硅化物适宜作接触（第七章）。事实上，在n型和p型硅上具有几乎相同的肖

特基势垒高度的所有难熔金属硅化物，同样都可作为两种类型硅的接触。

表4.  贵重金属硅化物和难熔金属硅化物的比较

| 性      质                                 | VII族金属                                                | VI A、V A、VI A族金属                                      |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 金属的电阻率                                   | 所有金属接近相同； $7.5 \pm 2.5 \mu \Omega \cdot \text{Cm}$    | 随周期表中和族中原子数的增加而减少                                     |
| 硅化物的电阻率                                  | 接近相同； $25 \pm 10 \mu \Omega \cdot \text{Cm}$ ，与原子数无关  | 随周期表中和族中原子数的增加而增加                                     |
| 硅化物的晶体结构                                 | 与原子数或族数无关                                             | 同一族中的金属都一样，随金属原子数的改变而改变                               |
| 肖特基势垒高度（n型硅）                             | 大于硅禁带能量的一半，随原子数的增加而增加                                 | 都具有类似的值： $0.55 \pm 0.05 \text{eV}$                    |
| 形成温度                                     | $200-600\text{ }^{\circ}\text{C}$                     | $>600\text{ }^{\circ}\text{C}$                        |
| 占优势的扩散剂                                  | 金属                                                    | 硅                                                     |
| 原子间距                                     | $D_{\text{M-M}} < D_{\text{M-Si}} < D_{\text{Si-Si}}$ | $D_{\text{M-M}} > D_{\text{M-Si}} > D_{\text{Si-Si}}$ |
| 高温（ $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）稳定性 | 差                                                     | 好                                                     |

## B. MOS器件——栅和内部互连线级的RC延迟和速度

近年来，金属-氧化物-半导体（MOS）场效应晶体管成为硅集成电路工业的真正的千里马(*workhorse*)。图2示出一个典型的MOSFET 的截面、简化图和设计者的符号表示。中心区

称作栅。在该区中,硅衬底由一绝缘层(通常为热生长SiO<sub>2</sub>层)与金属电极(通常为多晶硅层)隔离。两个相邻的区域称作源和漏,它们是可交换的,并由在该区中可控掺杂扩散形成。MOSFET是当今设计和制造各种复杂电路的基本单元。

一个MOS器件的特性取决于一系列参数,其中以RC时间常数最重要。R和C分别表示栅和内引线级的总有效电阻和电容。RC值越大,器件的工作速度就越慢。尤其由于总电容依赖于器件尺寸,故该RC因子和器件尺寸之间的关系很复杂。

有一个简单可记的公式:

$$R = R_s L / W \tag{1}$$

和  $C = LW \epsilon_{ox} / t_{ox} \tag{2}$

故  $RC = R_s L^2 \epsilon_{ox} / t_{ox} \tag{3}$

此处L和W是所计算对象的长和宽,  $\epsilon_{ox}$ 和 $t_{ox}$ 分别是氧化层的介电常数和对硅基面的氧化层厚度。 $R_s$ 是薄层方块电阻,由下式表示:

$$R_s = \rho / t \tag{4}$$

此处 $\rho$ 和 $t$ 分别为内引线层的电阻率和厚度。于是,减小垂直方向的尺寸,即减小 $t$ 和 $t_{ox}$ ,RC则增大。然而,对于给定的 $t$ 和 $t_{ox}$ ,RC仅和L有关,而和宽度W无关。

由于边缘场效应,对于非常细的条宽,上述结论则不成立。在条宽小于5 $\mu$ m时,边缘场效应对总电容的影响显著。但是,在大的条宽下该影响可忽略不计。图3示出了一个4K位静态存储器的存取时间作为器件尺寸的函数关系。该存储器具有20 $\Omega/\square$ 多晶性栅和1 $\Omega/\square$ 的难熔金属栅材料。显然,对于图形尺寸小于2 $\mu$ m的器件,存取时间增大。这些计算反映了仅仅由于高内引线电阻所造成的影响。



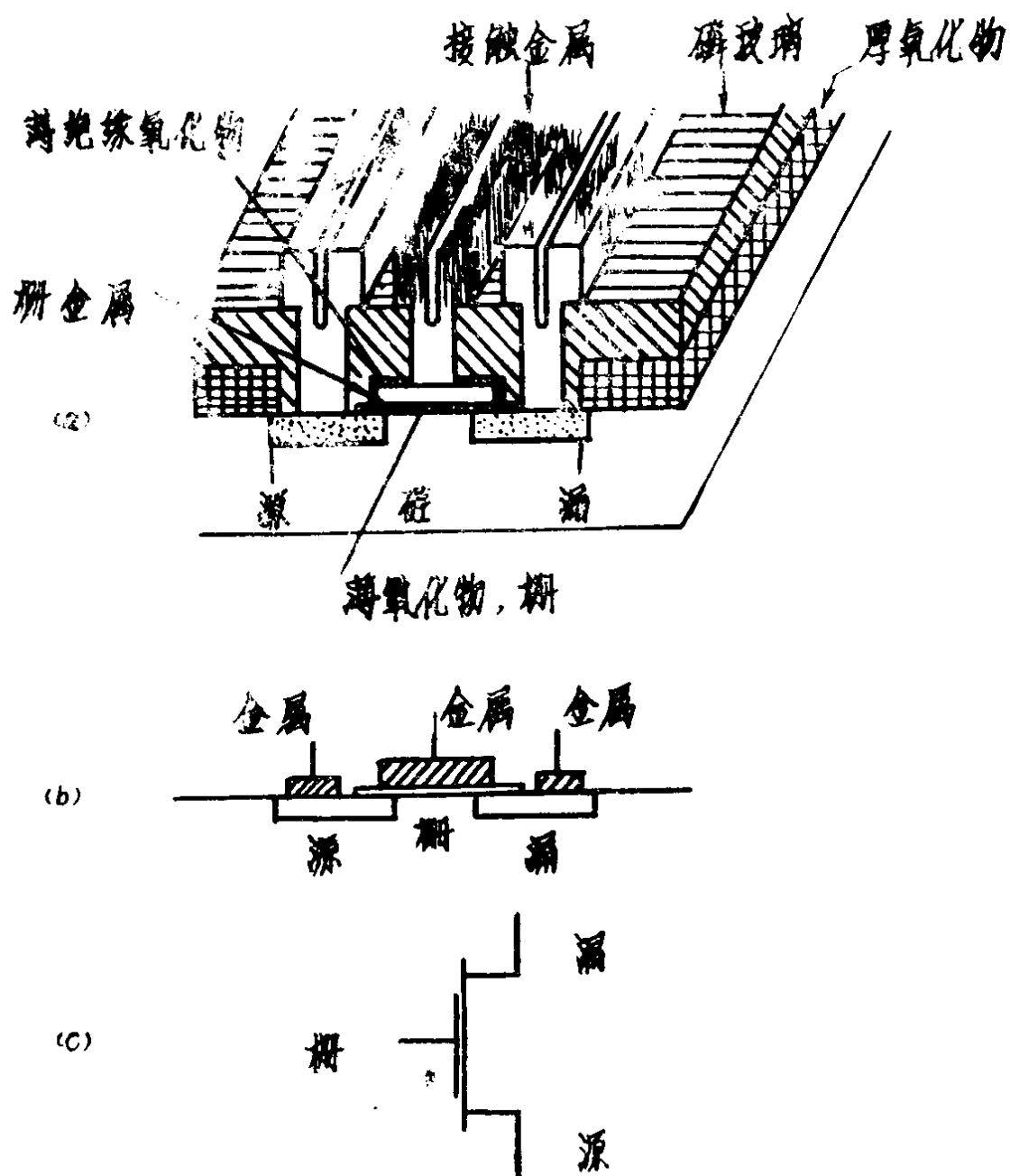


图2. 一个典型的MOSFET, (a) 截面, (b) 简化图示;  
(c) 设计者用的符号表示