

# 硅在 KOH 中各向异性腐蚀的物理模型<sup>\*</sup>

姜岩峰<sup>1</sup> 黄庆安<sup>1</sup> 吴文刚<sup>2</sup> 郝一龙<sup>2</sup> 杨振川<sup>2</sup>

(1 东南大学微电子中心, 南京 210096)

(2 北京大学微电子所, 北京 100871)

**摘要:** 针对硅在 KOH 中的各向异性腐蚀提出了一个新的物理模型。此模型从微观角度出发, 根据实际的腐蚀化学反应过程确定了若干微观状态, 提出了反映腐蚀特性的若干微观参数。将腐蚀温度、浓度等对腐蚀速率的影响也反映了进去。计算结果与实验结果进行了对比, 表明此模型在解释硅在 KOH 中各向异性腐蚀特性等方面具有一定的合理性。

**关键词:** 各向异性腐蚀; 激活能; 腐蚀速率

**EEACC:** 2550E

**中图分类号:** TN 304. 02

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2002)04-0434-06

## 1 引言

近年来, 微电子机械系统(MEMS)的发展令人瞩目, 它是在微电子工艺基础上发展起来的多学科交叉的前沿研究领域。MEMS 的三维结构, 突破了集成电路平面结构的限制, 从而拓宽了 MEMS 的实际应用领域。为此, 在集成电路平面工艺的基础上, 需要加上特有的体加工工艺技术来实现 MEMS 的三维结构, 例如各向异性腐蚀技术<sup>[1]</sup>等。

硅各向异性腐蚀技术, 是指在腐蚀过程中, 硅的不同晶面具有不同的腐蚀速率<sup>[2]</sup>, 它是 MEMS 的核心工艺之一。目前, 各向异性腐蚀较常用的腐蚀液有 KOH、EDP、TMAH 等。通过实验发现, 各晶面的腐蚀速率强烈地依赖于晶向、腐蚀液浓度、温度、掺杂浓度等。可以想象, 要想准确地对腐蚀结果进行预测是一件非常困难的事。所以, 研究者希望通过计算机进行各向异性腐蚀工艺的模拟。

目前, 对硅各向异性腐蚀的模拟工作已开展了一段时间, 提出了若干模拟模型<sup>[3~6]</sup>, 大部分模拟模型都是根据某个特定的腐蚀规则, 结合实际测得的

腐蚀速率数据来模拟腐蚀结果。所以, 目前的绝大多数模型都只能对一些特殊而又简单的情况进行模拟, 对稍微复杂一些的情况, 模拟结果和实验结果相比较, 就存在较大的误差。究其原因, 主要是由于各向异性腐蚀本身过于复杂, 腐蚀模型中相对简单的腐蚀规则显然不能包含腐蚀时可能遇到的所有情况, 所以, 当务之急是分析清楚各向异性腐蚀的机制, 以便制定出合理的腐蚀规则。

迄今为止, 用来分析各向异性腐蚀机理的模型<sup>[7~12]</sup>, 都是在某些假设的基础上对腐蚀机制定性地提出解释, 各模型均包含合理的物理图象, 然而当涉及到具体的定量分析时, 就显得有些无能为力了。例如, 对不同晶向腐蚀速率不一样这一现象, 有人用“原子面密度”来解释, 认为是各晶面原子面密度不一致造成的结果。然而, 各晶面之间原子面密度的差别最多不过有百分之几, 而几个主要低密勒指数组面((100)、(110)、(111))的腐蚀速率的差别竟达到上百倍,(111)晶面腐蚀速率比其它两个晶面要低上百倍。这是用“晶面原子面密度”无法解释的; 也有的研究者用物理学中的表面激活能来解释各向异性腐蚀的原因, 例如, 通过实验测量,(110)面的激活能为

\* 国家重点基础研究计划资助项目(编号: G19990330109)

姜岩峰 男, 1972 年出生, 博士后, 从事 MEMS CAD 研究。

黄庆安 男, 1963 年出生, 教授, 博士生导师, 目前主要从事 MEMS 方面的研究。

2001-05-28 收到, 2001-11-06 定稿

© 2002 中国电子学会

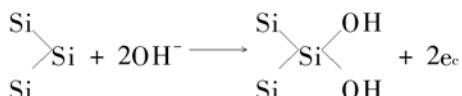
0.63eV, (100) 面激活能为 0.65eV, 而(111)面为 0.71eV. 显然, 如此小的差别无法解释不同晶面腐蚀速率的差别高达上百倍的原因<sup>[13]</sup>.

本文针对以上问题, 拟从基础的化学反应过程出发, 从化学动力学角度阐述各向异性腐蚀的物理机制. 目前, 公认的是 Seidel 等提出的硅各向异性腐蚀化学反应的过程<sup>[10]</sup>, 对于这个反应来说, 化学动力学是确定的, 能够用来说明反应的结果, 却没有从化学反应的微观意义上阐述各向异性腐蚀的原因. 从微观意义上去了解腐蚀过程, 是分析各向异性腐蚀机制比较可靠的方法.

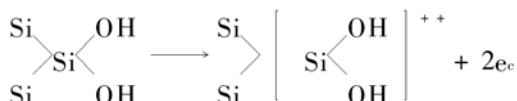
本文以 Seidel 等提出的化学反应过程为基础, 提取出反应中可能存在的各种微观状态, 再确定出各种微观状态的微观激活能, 应用物理上统计的方法从微观角度分析化学腐蚀的过程, 从理论上计算出主要几个晶面的相对腐蚀速率, 并对腐蚀液的温度、浓度等对腐蚀速率的影响从微观角度进行了解释.

## 2 硅各向异性腐蚀的微观描述

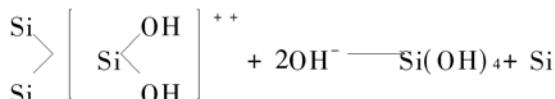
根据 Seidel 等人提出硅在 KOH 腐蚀液中反应的过程<sup>[10]</sup>, 首先由水分子分解出氢氧根离子, 氢氧根离子与表面原子未配对的电子结合形成 Si—O 键, 然后打断表面原子与其它硅原子连接的共价键, 最后生成  $\text{Si}(\text{OH})_4$ . 我们以(100)面的原子为例, 其反应过程可表示为:



在第二步反应中, 由于硅表面存在成键的 OH 集团, 使硅表面原子的背键强度降低,  $\text{Si}(\text{OH})_2$  团中的 Si—Si 背键被打开, 形成了带正电荷的氢氧化硅复合物:



氢氧化硅复合物进一步与两个  $\text{OH}^-$  反应产生原硅酸:



从以上反应过程可以看出, 在硅表面的原子被“移去”的过程中, 除去硅原子未受腐蚀的起始态和

被腐蚀反应为原硅酸的最终态之外, 还有若干个中间状态, 从微观角度来说, 各中间状态反映出腐蚀的微观过程, 可用来自说明腐蚀的机制. 我们认为, 处在不同晶面的硅原子的腐蚀速率之所以不同, 一方面是与被反应原子所处的初始状态有关, 另一方面也与反应过程中存在的各个中间状态有关.

根据以上(100)晶面硅原子腐蚀的化学反应方程, 可以看出, 在整个反应过程中, 可能存在的状态如图 1 所示. 为了便于识别, 如图中所示, 给各状态进行了标注.

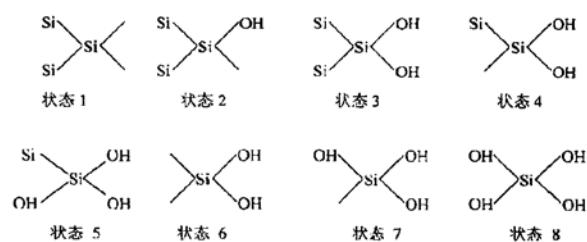


图 1 硅(100)晶面原子在 KOH 腐蚀过程中出现的状态示意图

Fig. 1 Diagram of possible existing microscopic-states for (100) crystal plane during anisotropic etching in KOH

由于所研究的是硅原子的腐蚀速率等与时间有关的内容, 我们选择了在物理和化学等诸多方面有着重要应用的主方程<sup>[14]</sup>. 主方程是关于概率密度的常微分方程, 尤其对化学反应的应用非常直观且方便. 从微观角度上观察, 化学反应本身带有很大程度的随机性, 例如分子的杂乱运动等, 因此, 化学过程本质上属于随机过程, 其反应粒子的运动具有随机特性, 实际上化学反应的速度不可避免地受到各种随机因素的影响. 我们只能通过一种统计的方法, 从微观粒子的规律出发, 作为考虑各种随机因素的影响的一种处理方法, 加上适当的随机项, 这种方法在物理图象上很直观.

从原则上讲, 一旦确定了各个反应步骤的转移概率, 便可以写出主方程. 所以说, 确定反应过程中各个反应步骤的转移概率, 是确定主方程的关键.

首先, 我们根据反应的过程看图 1 中八种微观状态之间的转换.

相应于图 1 中八种不同的状态, 就反应中各个状态之间可能的转换示于图 2 中. 其中, 有的状态在反应条件不确定的情况下, 受各种因素的影响, 有可能有多种形式状态的转化.

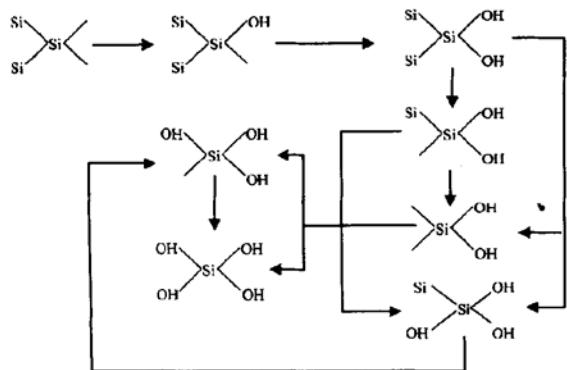


图 2 硅(100)晶面原子在腐蚀过程中各微观状态之间转化关系

Fig. 2 Illustration of the possible transfer relation of the states listed in Fig. 1

假设图 2 中各个状态在反应中相对应的状态数为  $n_i$ , 其中下标  $i$  标识为对应的状态; 又设状态  $i$  向状态  $j$  转化的概率为  $P_{ij}$ , 则相对于图 2 中各状态之间的反应可写出主方程组如下:

$$\frac{dn_1}{dt} = -P_{12}n_1 + P_{21}n_2 \quad (1)$$

$$\frac{dn_2}{dt} = P_{12}n_1 + P_{32}n_3 - P_{21}n_2 - P_{23}n_2 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dn_3}{dt} &= P_{23}n_2 + P_{43}n_4 + P_{53}n_5 + P_{63}n_6 \\ &- P_{32}n_3 - P_{34}n_3 - P_{35}n_3 - P_{36}n_3 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{dn_4}{dt} &= P_{34}n_3 + P_{54}n_5 + P_{64}n_6 \\ &- P_{43}n_4 - P_{45}n_4 - P_{46}n_4 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{dn_5}{dt} &= P_{45}n_4 + P_{35}n_3 + P_{75}n_7 \\ &- P_{54}n_5 - P_{53}n_5 - P_{57}n_5 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{dn_6}{dt} &= P_{36}n_3 + P_{46}n_4 + P_{76}n_7 + P_{86}n_8 \\ &- P_{63}n_6 - P_{64}n_6 - P_{67}n_6 - P_{68}n_6 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dn_7}{dt} &= P_{87}n_8 + P_{57}n_5 + P_{67}n_6 \\ &- P_{78}n_7 - P_{75}n_7 - P_{76}n_7 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{dn_8}{dt} = P_{78}n_7 + P_{68}n_6 - P_{87}n_8 - P_{86}n_8 \quad (8)$$

我们假设各个状态之间的转移概率  $P_{ij}$  服从玻尔兹曼分布<sup>[15]</sup>:

$$P_{ij} = \exp\left(\frac{E_i - E_j}{kT}\right) \quad (9)$$

其中  $E_i, E_j$  分别为状态  $i$  和  $j$  对应的激活能, 为区别于宏观意义上的激活能, 这里我们称之为微观激

活能. 可以看出, 如果微观激活能已知, 可以联立求解由上面八项主方程组成的主方程组. 所以, 如何确定激活能是下面要考虑的问题.

### 3 微观激活能的确定

在半导体领域, 研究者们为了理解上的直观, 往往愿意用能带论观点来作为物理图象. 在一定程度上, 能带的图象直观、简单, 便于理解. 同样, 在以往的有关对硅各向异性腐蚀机制的解释中, 也是用能带论观点来解释的.

我们知道, 能带理论建立的大前提是原子的周期性排列<sup>[16]</sup>. 而在讨论腐蚀液对硅的腐蚀时, 腐蚀总是发生在表面处的. 表面处硅原子的悬挂键, 使得近表面处原子与体内原子相比较, 不具有周期性排列的特点, 那么硅表面处原子同体内原子就不能用一个统一的费米能级来进行描述. Nemirovsky 等人<sup>[18]</sup>用弯曲的能带对被腐蚀的硅材料进行了描述, 模型简单、直观, 属于宏观上表现出的平均结果.

在表面被腐蚀的原子, 可以从微观结构上的价键情况, 即配位数、价键长度和键角等方面考虑. 由于其从“远处”考虑, 仅具有表面二维平面的平移对称性, 这时的激活能主要决定于“近处”原子的状态以及二维平面的平移对称性等, 与平时宏观上的以能带论为基础的激活能不相同.

若只考虑主要的三个晶面(100)、(110)、(111), 其处于这三个晶面上的原子与相邻原子的化学键的作用情况如图 3 所示. 从图中可见, 对(100)面, 处于表面的原子有两个悬挂键, 另外两个键与其它两个硅原子相连, 与之相连的硅原子没有悬挂键; 对(111)面, 表面原子有一个悬挂键, 与三个没有悬挂键的硅原子相连, 如果想将(111)面上的硅原子腐蚀掉, 必须破坏三个硅-硅共价键; 而(110)面上, 虽然

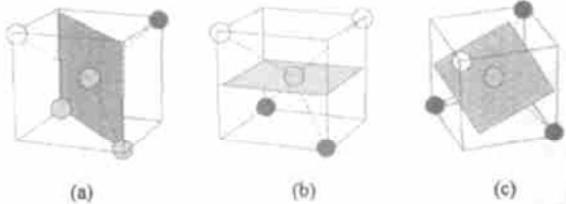


图 3 (110)、(100)、(111)晶面原子与近邻原子价键作用情况  
(a) (110)晶面; (b) (100)晶面; (c) (111)晶面

Fig. 3 Bonding situations on the three main low-index planes (a) (110) plane; (b) (100) plane; (c) (111) plane

其表面原子同样仅有一个悬挂键,但是其另外三个键连接的三个硅原子,其中有两个硅原子有一个悬挂键,另外一个没有悬挂键,所以(110)面上原子的共价键与(111)面相比,肯定很容易打断。从以上分析可以看出,“近邻”情况,即最紧邻原子的数目(配位数)、被腐蚀原子与最近邻原子的距离(价键长度)以及与最近邻原子间连接线的夹角(键角)等,可以从微观上反映出被腐蚀原子被“移去”的难易程度,这种程度在这里用“微观激活能”来度量。可以认为,宏观激活能是各状态对应微观激活能在宏观意义上统计平均的结果。

Seidel 等认为,腐蚀反应的驱动力就是 Si—O 键结合能大于 Si—Si 键结合能<sup>[10]</sup>。Si—O 键结合能是 0.48eV, Si—Si 键结合能仅为 0.194eV<sup>[16]</sup>,由此可估计出各个状态中硅原子的结合能。这是我们从微观状态考虑出发所得到的状态能量,与宏观上表现出的不一样,也就是我们提出的微观参数。但是,各个状态对应的微观能量决不是各个键的结合能的简单叠加。目前,暂不考虑临近硅原子价键结合情况对被考虑对象的影响,同时近似认为在整个腐蚀过程中腐蚀条件不变,在整个化学反应过程中, Si—O 键结合能也不变,而 Si—Si 键结合能却由于 OH 根离子的影响而发生变化<sup>[12]</sup>,由于 OH 根离子的作用, Si—Si 键结合能随着化学反应的进行而由强转弱,直至 Si—Si 键的最终断裂。

本文仅考虑一级效应,即只认为整个反应中,仅各状态的微观激活能是可调的,即腐蚀液的浓度、温度等对腐蚀过程的影响,均表现在它们对微观激活能的改变上。Camon 等人提出<sup>[12]</sup>, Si—Si 键周围氢氧根离子的存在影响着 Si—Si 键的结合能。在没有氢氧根的时候, Si—Si 相邻原子之间共价键的结合最紧密;当周围有氢氧根离子的时候,由于 Si—OH 的结合能比 Si—Si 的结合能高,所以 Si 原子有与氢氧根结合的趋势,使原 Si—Si 键发生偏移,结合力减弱;并且氢氧根数目越多, Si—Si 键结合能越低。

设氢氧根在腐蚀液中的浓度为  $N$ ,其自由扩散长度为  $L$ ,硅材料被腐蚀表面的晶面原子面密度为  $\delta_0$ ,则每个待腐蚀硅原子周围可能有的氢氧根离子的数目  $n_{\text{OH}}$  为:

$$n_{\text{OH}} = \frac{N}{L\delta_0} \quad (10)$$

一个氢氧根离子对 Si—Si 键结合能的影响为  $\frac{kT}{2}$ <sup>[16]</sup>,则考虑到氢氧根离子对 Si—Si 键结合能的

影响后, Si—Si 之间结合能可用下式表示:

$$E_{\text{Si-Si}} = E_0 - n_{\text{OH}} \times \frac{kT}{2} \quad (11)$$

其中  $E_0$  为未受氢氧根离子影响时 Si—Si 键的结合能。

综上所述,可以确定出图 1 中所列各个状态在不同腐蚀液浓度、温度时所对应的微观激活能;在各状态微观激活能确定之后,就可以利用前面列出的主方程组得出各状态随时间的变化,下面我们着重讨论不同腐蚀浓度、温度下不同晶面的腐蚀速率,可以认为当状态 1 的状态数等于或者趋近于零时腐蚀完成,所对应的时间就是腐蚀时间,同样,由此也可求出腐蚀  $1\mu\text{m}$  硅材料所需的时间,即腐蚀速率。

硅衬底材料的掺杂浓度对腐蚀的影响在这里暂不考虑,我们仍以(100)面为例,在 KOH 腐蚀液中,腐蚀液浓度为 30%,温度为 70°C 时,图 1 中列出的八种状态其微观激活能如图 4 所示。由于化学反应中不可避免地有各种可能随机的情况对腐蚀产生影响,在实际计算时,在每个算得的微观激活能上加了一个(-0.1eV, +0.1eV)的随机数。在实际计算时,每个微观激活能都在一定的范围内取值,如图 4 所示。

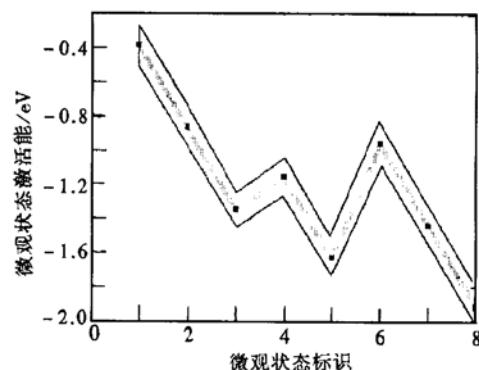


图 4 硅(100)晶面八种微观状态的微观激活能

Fig. 4 Illustration of the microscopic activation energies of the state shown in Fig. 1

同理,可以确定与(110)、(111)面腐蚀过程中各状态对应的微观激活能,应用上面所提相同的方法,可以确定出相应的腐蚀时间。

#### 4 计算结果与讨论

我们最关心的是相同腐蚀条件下各晶面的腐蚀速率之比。通过计算,可以得出,在 KOH 腐蚀液中,

腐蚀液浓度为 30%，温度为 70℃时，各晶面腐蚀速率分别为：

$$v_{(100)} = 0.737 \mu\text{m}/\text{min},$$

$$v_{(110)} = 0.913 \mu\text{m}/\text{min},$$

$$v_{(111)} = 0.011 \mu\text{m}/\text{min}$$

各晶面腐蚀速率之比为：

$$v_{(110)} : v_{(100)} : v_{(111)} = 83 : 67 : 1$$

与实验结果对比可以看出<sup>[2, 17]</sup>，利用以上所提出的模型得到的结果反映了各主要晶面的腐蚀速率。

由图 4 所示的各微观状态激活能可以看出，状态 4 和状态 6 处有两个能量的势垒，阻止化学反应的进行，化学反应若想进一步进行，必须克服这两处势垒。克服势垒的难易程度决定了腐蚀的快慢。同理，(111) 晶面的原子在腐蚀过程中可能存在十二种微观状态，有四处势垒且势垒幅度很大，这在一定程度上可用来解释(111) 面腐蚀速率慢的原因。

我们另外得出了腐蚀条件不同的情况下腐蚀时间的变化情况，也反映出各向异性腐蚀的特点。在以上所提模型中，各参数受温度影响较大的主要是各状态之间的转换几率  $P_{ij}$ ，如(9) 式所示，指数项中包含着温度；另外，氢氧根离子在腐蚀液中的自由扩散长度也与温度有关，(11) 式也与温度有关。在腐蚀液浓度一致的前提下，改变腐蚀液的温度，各晶面的腐蚀速率随温度的变化示于图 5。

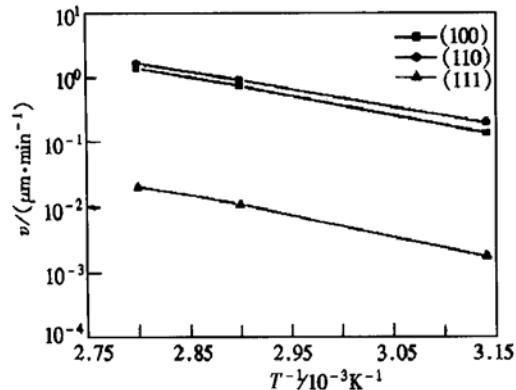


图 5 各晶面腐蚀速率随温度的变化曲线

Fig. 5 Relationship between etching rate of three crystal planes and etchant temperatures

由图 5 可以看出，虽然整个计算过程中，与温度相关的各微观参数对腐蚀速率的共同影响，使得从微观角度上不再符合 Arrhenius 定律，但是如图 5 所示，最终宏观上各晶面的腐蚀速率与温度的关系

仍然服从 Arrhenius 定律，且由图 5 可确定出各晶面的宏观激活能，分别为：

$$E_{(100)} = 0.55 \text{ eV}, E_{(110)} = 0.52 \text{ eV}, E_{(111)} = 0.63 \text{ eV}$$

与实验值符合得很好<sup>[2, 17]</sup>。由此可以得出结论，微观激活能与宏观激活能之间不是相互独立的，宏观激活能是各微观状态所对应的微观激活能统计平均的结果<sup>[15]</sup>。由此，可以将本文中所提出的微观激活能与宏观激活能统一起来。

腐蚀液的浓度对腐蚀速率的影响体现在(11) 式中，通过改变硅原子之间的结合能，从而对腐蚀速率产生了影响。在腐蚀温度为 70℃ 时，各晶面腐蚀速率与腐蚀液浓度之间的关系示于图 6，图中两条曲线分别代表(100) 及(110) 面，(111) 面由于其腐蚀速率过低，用本文中提出的模型计算浓度的改变对腐蚀速率的影响时，几乎没有差别。

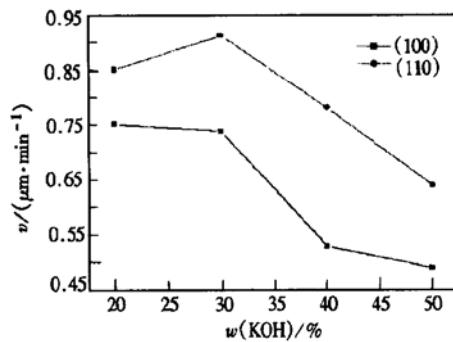


图 6 腐蚀液浓度对腐蚀速率的影响

Fig. 6 Relationship between the etching rate and the etchant concentration

## 5 结论

本文提出了硅各向异性腐蚀的物理模型，提取出与腐蚀相应的数个微观状态，并确定出了各微观状态所对应的微观激活能。在微观激活能中包含了腐蚀浓度、温度的影响，从物理角度说明了它们对腐蚀的影响。通过实际的计算结果，可以看出，本文中所构造的物理模型基本上反映了各向异性腐蚀的物理机制，首次提取出了若干微观参数来解释环境因素对腐蚀的影响，并且将微观参数与宏观参数联系起来，认为宏观参数是微观参数统计平均的结果，从而为更好地理解和应用各向异性腐蚀这个关键性的工艺打下了基础。

## 参考文献

- [ 1 ] Bean K E. Anisotropic etching of silicon. *IEEE Trans Electron Devices*, 1978, 25( 10) : 1178
- [ 2 ] Huang Qing'an. *Silicon micromachining technology*. Beijing: Science Press, 1996[ 黄庆安. 硅微机械加工技术. 北京: 科学出版社, 1996]
- [ 3 ] Sequin C H. Computer simulation of anisotropic crystal etching. In: *Transducers'91*, Chicago, IL, 1991: 801
- [ 4 ] Hubbard T J, Antonsson E K. Emerging faces in crystal etching. *J Microelectromech Syst*, 1994, 3( 3) : 19
- [ 5 ] Heim U. A new approach for the determination of the shape of etched devices. *J Microelectromech Syst*, 1993, 2( 9) : 116
- [ 6 ] Than O, Buttgenbach S. Simulation of anisotropic chemical etching of crystalline silicon using a cellular automata model. *Sens Actuators*, 1994, A45( 1) : 85
- [ 7 ] Yang Heng, Bao Minhang, Shen Shaoqun, et al. A novel method for measuring etch rate in silicon anisotropic etchant. *Chinese Journal of Semiconductors*. 2000, 21( 4): 504(in Chinese)[ 杨恒, 鲍敏杭, 沈绍群, 等. 测定硅各向异性腐蚀速率分布的新方法. 半导体学报, 2000, 21( 4) : 504]
- [ 8 ] Faust J W. Study of the orientation dependent etching and initial anodization of Si in aqueous KOH. *J Electrochem Soc*, 1983, 130( 6) : 1413
- [ 9 ] Ralay N F. (100) silicon etch-rate dependence on boron con-
- centration in EPW solutions. *J Electrochem Soc*, 1984, 131( 1) : 161
- [ 10 ] Seidel H. Anisotropic etching of crystalline silicon in alkaline solutions I, Orientation dependence and behavior of passivation layers. *J Electrochem Soc*, 1990, 137( 11) : 3612
- [ 11 ] Van Veenendaal E, Nijdam A J. Simulation of anisotropic wet chemical etching using a physical model. *Sensors and Actuators*, 2000, 184( 2) : 324
- [ 12 ] Camon H, Moktadir Z. New trends in atomic scale simulation of wet chemical etching of silicon with KOH. *Materials Science and Engineering B*, 1996, 37( 1) : 142
- [ 13 ] Kovacs G T A. Bulk micromachining of silicon. *Proceedings of the IEEE*, 1998, 86( 8) : 1536
- [ 14 ] Lebowitz J L. *Simple models of equilibrium and nonequilibrium phenomena*. Amsterdam: Elsevier, 1987
- [ 15 ] Blakemore J S. *Semiconductor statistics*. Oxford: Pergamon, 1962
- [ 16 ] Harrison W A. *Electronic structure and the properties of solids*. W H Freeman and Company, 1980
- [ 17 ] Shikida M. Differences in anisotropic etching properties of KOH and TMAH solutions. *Sensors and Actuators*, 2000, 84( 1) : 179
- [ 18 ] Nemirovsky Y, El-Bahar A. The non equilibrium band model of silicon in TMAH and in anisotropic electrochemical alkaline etching solutions. *Sensors and Actuators*, 1999, 75( 2) : 205

## A Physical Model for Silicon Anisotropic Etching in KOH\*

Jiang Yanfeng<sup>1</sup>, Huang Qing'an<sup>1</sup>, Wu Wengang<sup>2</sup>, Hao Yilong<sup>2</sup> and Yang Zhenchuan<sup>2</sup>

(1 *Microelectronics Center, Southeast University, Nanjing 210096, China*)

(2 *Institute of Microelectronics, Peking University, Beijing 100871, China*)

**Abstract:** A novel physical model for describing the process of silicon anisotropic wet chemical etching is proposed. Based on the actual process of etching chemical reaction, non-linear equations are presented and a series of microscopic-parameters are creatively put forward, including the influence of etching temperature and etchant concentration. Comparing the calculated results against the experimental data, the model and its parameters are shown to be suitable.

**Key words:** anisotropic etching; activation energy; etching rate

**EEACC:** 2550E

**Article ID:** 0253-4177(2002)04-0434-06

\* Project supported by National Key Fundamental Research Project (No. G19990330109)

Jiang Yanfeng male, was born in 1972, postdoctor. He is engaged in MEMS CAD.

Huang Qing'an male, was born in 1963, professor, tutor of doctor candidate. Now he is engaged in the field of MEMS.

Received 28 May 2001, revised manuscript received 6 November 2001

© 2002 The Chinese Institute of Electronics