

ULSI 制造中硅片化学机械抛光的运动机理*

苏建修^{1,2} 郭东明¹ 康仁科¹ 金洙吉¹ 李秀娟¹

(1 精密与特种加工教育部重点实验室, 大连理工大学, 大连 116024)

(2 河南科技学院, 新乡 453003)

摘要: 从运动学角度出发, 根据硅片与抛光垫的运动关系, 通过分析磨粒在硅片表面的运动轨迹, 揭示了抛光垫和硅片的转速和转向以及抛光头摆动参数对硅片表面材料去除率和非均匀性的影响. 分析结果表明: 硅片与抛光垫转速相等转向相同时可获得最佳的材料去除非均匀性及材料去除率. 研究结果为设计 CMP 机床, 选择 CMP 的运动参数和进一步理解 CMP 的材料去除机理提供了理论依据.

关键词: 化学机械抛光; 材料去除机理; 材料去除率; 非均匀性; 磨粒

EEACC: 2220; 2550; 8620

中图分类号: TN305.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)03-0606-07

1 引言

目前超大规模集成电路 (ULSI) 制造技术已经跨入 0.13 μm 和 300mm 时代, 特征线宽 0.1 μm 技术也正在走向市场. 在集成电路 (IC) 制造中, 化学机械抛光技术 (chemical mechanical polishing, CMP) 不仅是硅片加工中获得超光滑无损伤单晶硅衬底表面的最有效方法, 也是 ULSI 多层布线中理想的层间平坦化方法; 目前 CMP 已成为半导体加工行业实现硅片全局平面化的主流技术^[1-3]. 尽管 CMP 被认为是进行硅片平坦化、获得超光滑无损伤表面的最有效方法, 但 CMP 材料去除机理、CMP 过程变量对硅片表面材料去除率和非均匀性的影响等方面的许多问题还没有完全研究清楚, 还需进一步研究, 特别是 CMP 材料去除机理^[4-6].

目前, 对硅片 CMP 材料去除机理的研究很多. 早在 1927 年 Preston 通过对玻璃的抛光, 得出了一个基于唯象学理论的材料去除率 (material removal rate, MRR) 模型, 之后被广泛用于硅片 CMP 过程中对 MRR 的估计^[7-9]. 1991 年之后, 人们把目光集

中在基于流体动力学理论^[9,10] 及基于接触力学理论^[11,12] 方面的硅片 CMP 材料去除机理研究上; Tich 及 Yu 等人^[8] 还进行了基于接触力学和流体力学理论的综合研究. 在基于运动学方面的硅片 CMP 研究方面, Hocheng 等人^[6] 通过对硅片表面相对速度及其影响参数的分析, 研究了单头抛光机运动变量对硅片 CMP 材料去除非均匀性的影响; Tso 等人^[7] 通过对双面抛光机抛光头与抛光盘的运动关系研究, 分析了磨粒在硬盘基片上的划痕分布非均匀性及其影响因素. 然而, 上述研究都带有片面性, 还存在一定的缺陷, 不能全面解释硅片 CMP 的材料去除机理.

随着集成电路的发展, 硅片尺寸不断增大, 其面型精度要求也越来越高, 基于磨粒运动轨迹的大尺寸硅片 (300mm 以上) CMP 机理研究还未见文献报导, 而磨粒在硅片表面的运动轨迹不仅最能反映出材料去除率的多少, 还能很好地反映出硅片表面材料去除非均匀性的高低^[6,7]. 为此, 本文根据大尺寸单头抛光机运动关系, 通过对磨粒在硅片上的轨迹长度及磨粒轨迹分布均匀性的研究, 分析了 CMP 抛光机运动参数对硅片表面材料去除率及材料去除

* 国家自然科学基金重大项目资助 (批准号: 50390061)

苏建修 男, 教授, 博士研究生, 主要从事超精密加工及特种加工研究.

郭东明 男, 教授, 博士生导师, 主要从事精密及特种加工、精密测量及数字化设计制造.

康仁科 男, 教授, 博士生导师, 主要从事超精密加工及特种加工研究.

2004-03-02 收到, 2004-07-15 定稿

非均匀性的影响,从而为进一步揭示硅片 CMP 机理提供了理论依据.

2 硅片 CMP 运动学模型建立

适合于大尺寸硅片的 CMP 系统是由夹持硅片的抛光头、承载抛光垫的工作台和抛光液(浆料)供给系统三大部分组成. 抛光时,抛光头主动旋转,以一定的压力将硅片压在旋转工作台的抛光垫上;由亚微米或纳米磨粒和化学溶液组成的抛光液注入硅片与抛光垫之间,并与硅片表面产生化学反应;通过磨粒和抛光垫的机械作用去除硅片表面的化学反应产物,实现硅片平坦化^[1-5].

在基于游离磨料的传统 CMP 加工过程中,由于抛光垫是软质、多孔、粘弹性高分子聚合物,抛光液中的大部分磨粒在压力作用下会嵌入到抛光垫中,对硅片表面产生机械作用,如图 1 所示. 所以为了便于研究,假设磨粒嵌入抛光垫,在抛光垫上均匀分布(在半径 R 上的分布间隔为 R),随抛光垫一起运动. 抛光垫与硅片转向相同的运动关系如图

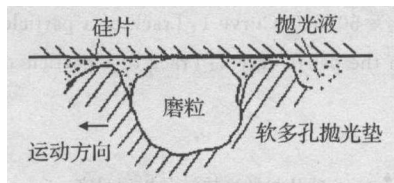


图 1 磨粒、硅片与抛光垫之间作用关系示意图

Fig. 1 Schematic of relationships between particle, wafer and polishing pad

2 所示,设抛光垫半径为 R ,硅片半径为 r ,抛光垫与硅片的中心距为 e ,抛光垫与硅片的转速和角速度分别为 m_1, m_2 及 ω_1, ω_2 ,逆时针转向为正,抛光头的摆臂长为 L ,摆动周期为 T ,摆幅为 $A/2$,摆动中心为 O_3 . 固定坐标系 XO_2Y 如图 2 所示,其原点在摆幅中点,硅片中心为 O_w ,选初始位置与 O_2 重合. 当在某一时刻距抛光垫中心 O_1 为 R_i 处有一磨粒在 P_{i0} 点与硅片开始接触,起始转角为 θ_{i0} ,则有:

$$\theta_{i0} = \arccos \frac{R_i^2 + e^2 - r^2}{2eR_i} \quad (1)$$

该磨粒在抛光垫上随抛光垫的运动方程(在 XO_2Y 坐标系中)为:

$$\begin{aligned} x_{ip} &= R_i \cos(\theta_{i0} + \omega_1 t) + e \\ y_{ip} &= R_i \sin(\theta_{i0} + \omega_1 t) \end{aligned} \quad (2)$$

当不考虑抛光头中心的摆动时,该磨粒在硅片上的

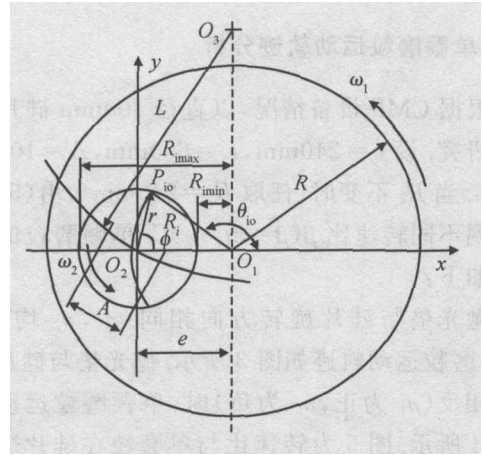


图 2 硅片与抛光垫的运动关系

Fig. 2 Relationship between wafer and the polishing pad

运动轨迹即为硅片表面上与该磨粒接触的点在 XO_2Y 坐标下的轨迹方程(接触点的旋转):

$$\begin{aligned} x_{iw} &= R_i \cos(\theta_{i0} + \omega_1 t \pm \omega_2 t) + e \cos(\omega_2 t) \\ y_{iw} &= R_i \sin(\theta_{i0} + \omega_1 t \pm \omega_2 t) + e \sin(\omega_2 t) \end{aligned} \quad (3)$$

式中 m_1 与 m_2 同向时, ω_2 前取“-”号;反之取“+”号. 设 $\alpha = \arcsin(\frac{A}{2L}) \sin(\frac{2}{T}t)$, $\beta = \arcsin(\frac{e}{L})$, O_3 的坐标为 $(L \sin \alpha, L \cos \alpha)$, 令:

$$\begin{aligned} x_{ow} &= -L \sin \alpha \cos \beta + L(1 - \cos \beta) \sin \alpha \\ y_{ow} &= L(1 - \cos \beta) \cos \alpha + L \sin \beta \sin \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 式也是抛光头中心(硅片中心)在 XO_2Y 坐标中的运动轨迹. 则在考虑抛光头中心摆动时该磨粒在硅片上运动轨迹为:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{iw} & y_{iw} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ x_{ow} & y_{ow} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3 磨粒运动轨迹分析

硅片 CMP 技术是化学作用与机械作用相结合的技术,抛光液在硅片表面产生的化学反应物主要由磨粒的耕犁作用来去除,因此磨粒在硅片表面的划痕长度对 MRR 的大小有着直接的影响,而磨粒在硅片表面上的划痕分布影响着材料去除的非均匀性. 单位时间内单颗磨粒划痕长度越长、参与抛光的磨粒数量越多,则 MRR 越大;磨粒在硅片表面上的轨迹分布越均匀,则硅片表面材料去除非均匀性越小.

3.1 单颗磨粒运动轨迹分析

根据 CMP 设备情况,以直径 300mm 硅片为例进行研究. 设 $e = 240\text{mm}$, $L = 600\text{mm}$, $A = 100\text{mm}$, $T = 6\text{s}$. 当 R_i 不变时(任取 $R_i = 240\text{mm}$), 由(5)式可以得到不同转速比 ($= m_1/n_2$) 下单颗磨粒的运动轨迹如下:

抛光垫与硅片旋转方向相同 (m_1, n_2 均为正) 时, 单磨粒运动轨迹如图 3 所示. 抛光垫与硅片旋转方向相反 (m_1 为正, n_2 为负) 时, 单颗磨粒运动轨迹如图 4 所示. 图 5 为转速比与单磨粒在硅片表面的轨迹长度示意图.

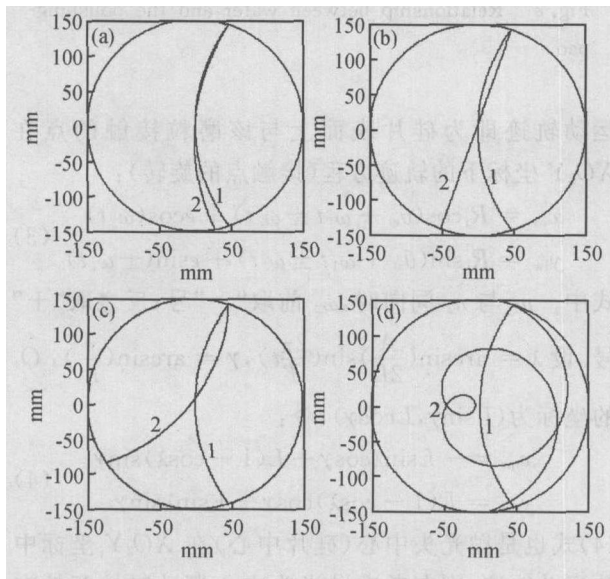


图 3 转向相同时硅片上单颗磨粒运动轨迹 (a) $m_1/n_2 = 500/50$; (b) $m_1/n_2 = 100/50$; (c) $m_1/n_2 = 50/50$; (d) $m_1/n_2 = 50/500$. 线 1: 磨粒随抛光垫的运动轨迹; 线 2: 磨粒在硅片上的运动轨迹 $R_i = 240\text{mm}$; $T = 6\text{s}$; $A = 100\text{mm}$; $L = 600\text{mm}$

Fig. 3 Track of a particle on wafer surface with the wafer and the pad rotating in same direction (a) $m_1/n_2 = 500/50$; (b) $m_1/n_2 = 100/50$; (c) $m_1/n_2 = 50/50$; (d) $m_1/n_2 = 50/500$. Curve 1: Track of a particle motioning with the pad; Curve 2: Track of a particle on wafer surface

(1) 单颗磨粒在硅片表面的轨迹长度与转速比的关系

当 m_1 与 n_2 均为正时(图 3): $= 2$ 时为临界值, 磨粒轨迹最短; < 2 时, 随着 的增大, 磨粒在硅片表面的轨迹长度大幅度减小; 而 > 2 时, 随 增大, 磨粒轨迹长度缓慢增加; 趋于无穷大时, 其长度接近曲线 1 的长度(图 3 中). 当 m_1 为正, n_2 为负时(图

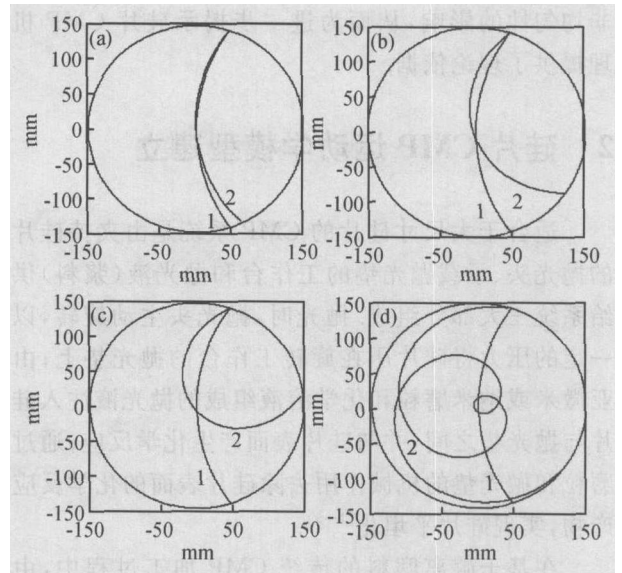


图 4 转向相反时硅片上单颗磨粒运动轨迹 (a) $m_1/n_2 = 500/50$; (b) $m_1/n_2 = 100/50$; (c) $m_1/n_2 = 50/50$; (d) $m_1/n_2 = 50/500$. 线 1: 磨粒随抛光垫的运动轨迹; 线 2: 磨粒在硅片上的运动轨迹 $R_i = 240\text{mm}$; $T = 6\text{s}$; $A = 100\text{mm}$; $L = 600\text{mm}$

Fig. 4 Track of a particle on wafer surface with the wafer and the pad rotating in reverse direction (a) $m_1/n_2 = 500/50$; (b) $m_1/n_2 = 100/50$; (c) $m_1/n_2 = 50/50$; (d) $m_1/n_2 = 50/500$. Curve 1: Track of a particle motioning with the pad; Curve 2: Track of a particle on wafer surface

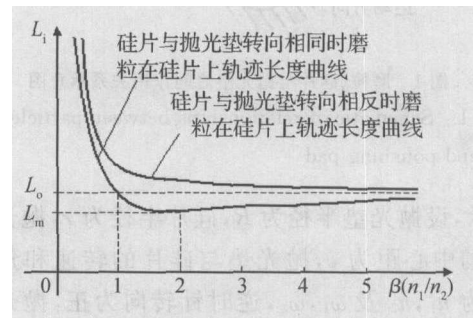


图 5 磨粒在硅片表面的轨迹长度示意图

Fig. 5 Schematic in track length of particle motioning on wafer surface

4), 随 的增加, 磨粒轨迹长度单调减小; 在 < 2 时, 随着 的变化, 磨粒轨迹长度的变化幅度较大.

(2) m_1, n_2 对材料去除率的影响

m_1, n_2 均为正时, > 2 时, 若 n_2 不变, 增大 m_1 , 不仅磨粒在硅片表面上的轨迹长度增加, 而且磨粒通过硅片的时间减少, 单位时间内通过硅片表面的磨粒数量增加; 这时 m_1 增大能使材料去除率增加. < 2 时, 若 n_2 不变, 增大 m_1 , 虽然单位时间内通过硅

片的磨粒数量增加,但磨粒在硅片表面的轨迹长度减少;这时材料去除率的变化要看磨粒数量的增加与磨粒轨迹长度减少两方面的综合结果.

m_1 为正, m_2 为负时,若 m_2 不变,增大 m_1 ,材料去除率的变化也要看磨粒数量的增加与磨粒轨迹长度减少两方面的综合结果.

不论 m_1, m_2 的正负如何,当 m_1 不变时, m_2 的变化只对磨粒轨迹长度有影响,不会引起单位时间内通过硅片表面的磨粒数量变化,这时可根据 m_2 的变化来分析 m_2 对材料去除率的影响.可见 m_1 的变化对材料去除率影响较复杂.

(3) 硅片与抛光垫转向同磨粒轨迹长度的关系

从图 3, 4 和 5 中的磨粒轨迹长度可以看出,在同等条件下, m_1 为正, m_2 为负时,磨粒在硅片表面的轨迹长度大于 m_1 与 m_2 同为正时磨粒在硅片表面上的轨迹长度.

(4) 在相同转速比 下,不同 m_1, m_2 对磨粒轨迹长度的影响

图 6(a) 的 2 线较图 6(b) 的 2 线短.这说明在相等条件下,其转速值 m_1, m_2 越大,则磨粒在硅片表面上的轨迹长度越长.

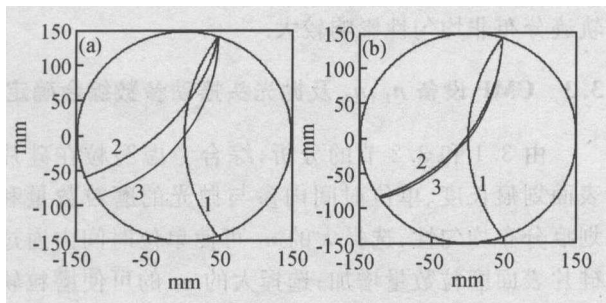


图 6 $\omega = 1$ 时, m_1, m_2 不同时单磨粒运动轨迹 (a) $m_1/m_2 = 10/10$; (b) $m_1/m_2 = 100/100$. 图中 m_1 与 m_2 同向, $R_i = 240\text{mm}$, $T = 6\text{s}$, $A = 100\text{mm}$, $L = 600\text{mm}$; 曲线 1, 2 意义同图 4; 曲线 3: 抛光头不摆动时磨粒在硅片上的运动轨迹.

Fig. 6 Track of a particle under different m_1 and m_2 at $\omega = 1$. $R_i = 240\text{mm}$, $T = 6\text{s}$, $A = 100\text{mm}$, $L = 600\text{mm}$ and the wafer and the pad rotate in same direction. Curves 1 and 2 see Fig. 3. Curve 3 is track of a particle on wafer surface without oscillating of carrier.

(5) 抛光头摆动参数对磨粒轨迹长度的影响

由图 7 可以看出,在相同条件下,当摆动周期为某临界值 T_0 时,会出现磨粒轨迹长度最短现象;当 $T > T_0$ 时,随着 T 的增大,磨粒轨迹长度缓慢增加, T 趋于无穷大时,线 2 与线 3 近似重合;当 $T < T_0$

时,随着 T 的减少,磨粒轨迹长度增大.

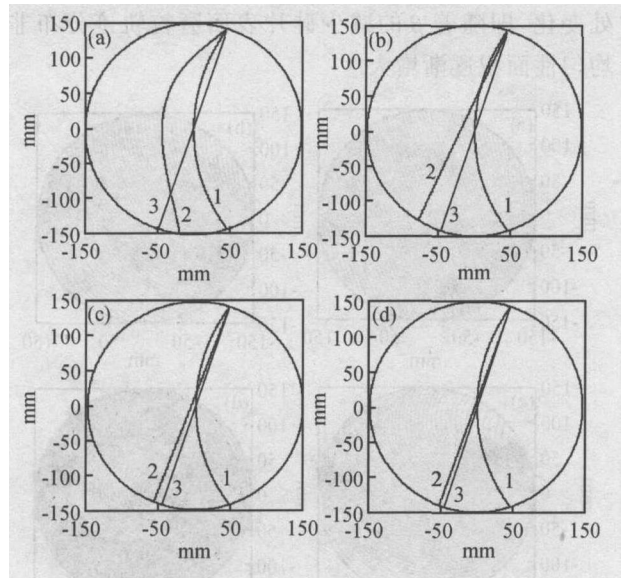


图 7 相同条件下不同 T 时磨粒在硅片上的运动轨迹 (a) $T = 0.2\text{s}$; (b) $T = 1\text{s}$; (c) $T = 3\text{s}$; (d) $T = 6\text{s}$. 图中 m_1 与 m_2 同为正, $R_i = 240\text{mm}$, $m_1/m_2 = 100/50$, $A = 100\text{mm}$, $L = 600\text{mm}$; 曲线 1, 2, 3 的说明与图 6 中相同.

Fig. 7 Track of a particle on wafer surface under different T . $R_i = 240\text{mm}$, $m_1/m_2 = 100/50$, $A = 100\text{mm}$, $L = 600\text{mm}$ and the wafer and the pad rotate in same direction. Curves 1 and 2 see Fig. 3, and Curve 3 sees Fig. 6.

由(5)式,改变抛光头摆幅 A 、摆长 L 可以仿真出 A, L 对磨粒轨迹长度的影响(限于篇幅,仿真图从略),从仿真结果可以分析出:正常条件下,随着 A 的增大,磨粒轨迹长度稍有减少,但影响不显著;在相同条件下,摆长 L 对磨粒轨迹长度的影响很小.

3.2 多磨粒运动轨迹分析

由(5)式, R_i 从 90mm 变化到 390mm,以 $R_i = 5\text{mm}$ 为增量进行仿真(共 60 颗磨粒),则不同 下的磨粒运动轨迹如下:

当 m_1 与 m_2 均为正时,多磨粒在不同 下的运动轨迹如图 8 所示.当 m_1 为正、 m_2 为负时,多磨粒在不同 下的运动轨迹如图 9 所示.经过对图 8 和 9 进行分析,则有:

(1) m_1 与 m_2 大小对磨粒轨迹分布均匀性的影响

当 $\omega > 1$ (图 8), $\omega > 2$ (图 9)时,磨粒轨迹呈均匀分布.当 $\omega < 1$ (图 8), $\omega < 2$ (图 9)时,随 ω 逐渐减少,磨粒轨迹长度逐渐增大,轨迹曲率半径逐渐变小,磨

粒轨迹重叠现象从硅片边缘处开始逐渐向硅片中心处变化,即随着 n_1 的减少硅片表面磨粒轨迹分布非均匀性面积逐渐增大。

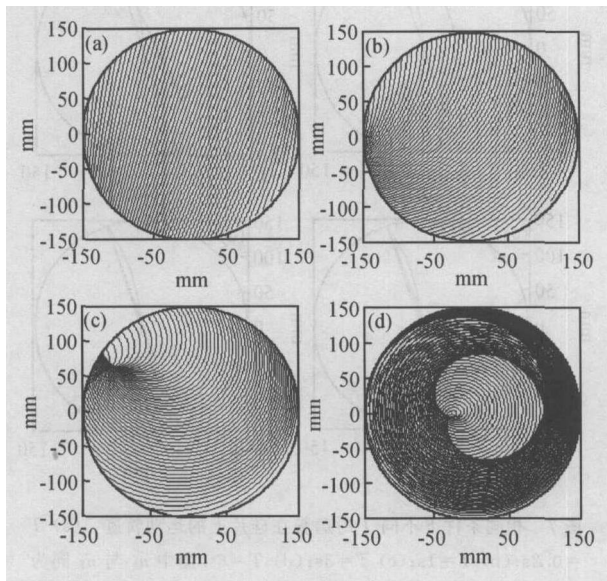


图 8 转向相同时硅片上多磨粒运动轨迹 (a) $m_1/n_2 = 100/50$; (b) $m_1/n_2 = 50/50$; (c) $m_1/n_2 = 50/100$; (d) $m_1/n_2 = 50/500$
Fig. 8 Tracks of particles on wafer surface under the wafer and the pad rotating in the same direction (a) $m_1/n_2 = 100/50$; (b) $m_1/n_2 = 50/50$; (c) $m_1/n_2 = 50/100$; (d) $m_1/n_2 = 50/500$. $R_i = 5\text{mm}$, $T = 6\text{s}$, $A = 100\text{mm}$, $L = 600\text{mm}$

(2) m_1 与 n_2 的方向对硅片表面磨粒轨迹分布均匀性的影响

在 $n_1 = 2$ 和 $n_1 = 1$ 时,当 m_1 与 n_2 均为正时,磨粒轨迹分布均匀(图 8);而当 m_1 为正, n_2 为负时,磨粒轨迹有明显的重叠现象,即出现非均匀性现象(图 9). 在 $n_1 = 1/2$ 时,磨粒轨迹在 m_1 与 n_2 均为正时的重叠区域较 m_1 为正, n_2 为负时小. 可见,正常情况下,在同等条件下,硅片与抛光垫转向相反时,硅片表面磨粒轨迹分布非均匀性大于硅片与抛光垫转向相同时的硅片表面磨粒轨迹分布非均匀性.

(3) 抛光头摆动参数对硅片表面磨粒轨迹分布均匀性的影响

由(5)式,可以仿真出 T, A, L 对硅片表面磨粒轨迹分布均匀性的影响(限于篇幅,仿真图也从略). 从仿真结果可以看出:正常条件下, A 和 L 的大小对磨粒轨迹分布非均匀性影响不太明显;当转速较低时, T 较小容易出现磨粒轨迹分布非均匀,当转速较大时,即使 T 较小,也不会出现磨粒轨迹分布非均匀性. 而 A 较小时, T 很小时也会出现磨粒轨迹

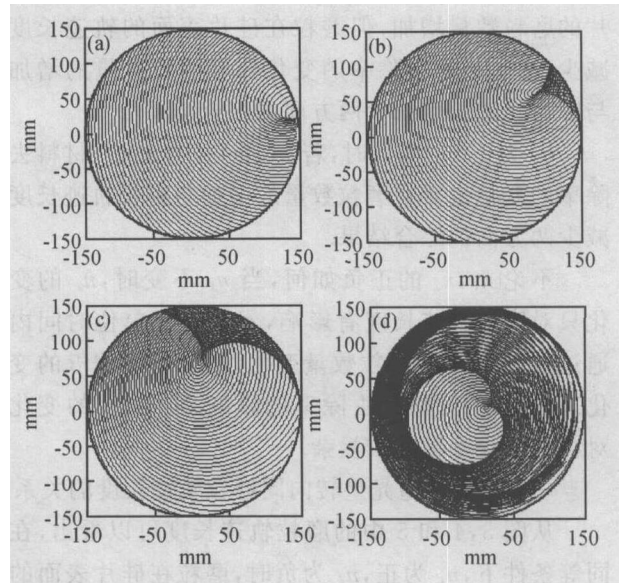


图 9 转向相反时硅片上多磨粒运动轨迹 (a) $m_1/n_2 = 100/50$; (b) $m_1/n_2 = 50/50$; (c) $m_1/n_2 = 50/100$; (d) $m_1/n_2 = 50/500$
Fig. 9 Tracks of particles on wafer surface under the wafer and the pad rotating in the reverse direction (a) $m_1/n_2 = 100/50$; (b) $m_1/n_2 = 50/50$; (c) $m_1/n_2 = 50/100$; (d) $m_1/n_2 = 50/500$. $R_i = 5\text{mm}$, $T = 6\text{s}$, $A = 100\text{mm}$, $L = 600\text{mm}$

分布非均匀. 因此,在抛光头摆动参数中, T 对磨粒轨迹分布非均匀性影响较大.

3.3 CMP 设备 n_1, n_2 及抛光头摆动参数综合确定

由 3.1 和 3.2 节的分析,综合考虑磨粒在硅片表面划痕长度、单位时间内参与抛光的磨粒数量和划痕分布均匀性,选择大的 n_1 可使单位时间内通过硅片表面磨粒数量增加;选择大的 n_2 的可使磨粒轨迹长度增加;而在 $n_1 \geq 1$ 时且 m_1 与 n_2 均为正时,硅片表面磨粒轨迹分布均匀. 因此,在优先考虑磨粒分布均匀性的条件下应取 $n_1 \geq n_2$ 且 m_1 与 n_2 同号,再考虑磨粒轨迹长度取 $m_1 = n_2$. 这个结论不仅与文献[6]的实验结果基本一致,而且也说明了目前 CMP 设备设计成抛光垫与硅片转向相同的原因,同时也从另一个侧面揭示了 CMP 材料去除机理.

在综合考虑材料去除率和材料去除非均匀性的条件下,可选择较大的 T 值, A 与 L 可根据设备情况确定,但应避免在低转速下选择较大的 A 和过小的 T 值.

4 结论

经过上述分析,得出如下结论:

(1) n_1 的变化不仅使单位时间内通过硅片表面磨粒数量变化,还会使磨粒轨迹长度产生变化;而 n_2 的变化只影响磨粒轨迹长度. 因此, n_1 对材料去除率的影响要综合考虑单位时间内参与抛光的磨粒数量与磨粒轨迹长度的变化两方面的因素. 而 n_2 对材料去除率的影响只需考虑磨粒轨迹长度的变化.

(2) 根据硅片表面材料去除率及材料去除均匀性,应选 $n_1 = n_2$ 或 n_1 与 n_2 接近且转向相同.

(3) 抛光头摆动参数 A, T, L 中, T 对硅片表面磨粒轨迹长度和磨粒轨迹分布非均匀性的影响最大,而 A, L 的影响很小. 因此,通过 A, T, L 与 n_1, n_2 的合理匹配可得到最佳硅片表面材料去除率和最小的材料去除非均匀性.

(4) 本文是在磨粒嵌入(固结在)抛光垫的基础上进行分析,所以该方法可直接用于下一代固结磨粒硅片 CMP 机理的分析,为固结磨料硅片 CMP 机理的运动学分析起到抛砖引玉的作用.

参考文献

- [1] Guo Dongming, Kang Renke, Su Jianxiu, et al. Future development on wafer planarization technology in ULSI fabrication. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(10):100(in Chinese) [郭东明, 康仁科, 苏建修, 等. 超大规模集成电路制造中硅片平坦化技术的未来发展. 机械工程学报, 2003, 39(10):100]
- [2] Su Jianxiu, Kang Renke, Guo Dongming. Technology analysis of wafer chemical mechanical polishing in the manufacture of ULSI. Semiconductor Technology, 2003, 28(10):27(in Chinese) [苏建修, 康仁科, 郭东明. 超大规模集成电路制造中硅片化学机械抛光技术分析. 半导体技术, 2003, 28(10):27]
- [3] Wang Hongying, Liu Yuling, Zhang Dechen. A new type of copper CMP slurry in ULSI. Chinese Journal of Semiconductors, 2002, 23(2):217(in Chinese) [王弘英, 刘玉岭, 张德臣. 适于 ULSI 的一种新的铜 CMP 抛光液. 半导体学报, 2002, 23(2):217]
- [4] Wang Xin, Liu Yuling. CMP slurry of copper interconnection for ULSI. Chinese Journal of Semiconductors, 2002, 23(9):1006(in Chinese) [王新, 刘玉岭. ULSI 铜互连线 CMP 抛光液的研制. 半导体学报, 2002, 23(9):1006]
- [5] Zhang Kailiang, Liu Yuling, Wang Fang, et al. Chemical-mechanical polishing of silicon wafer in ULSI. Chinese Journal of Semiconductors, 2004, 25(1):115(in Chinese) [张楷亮, 刘玉岭, 王芳, 等. ULSI 硅衬底的化学机械抛光. 半导体学报, 2004, 25(1):115]
- [6] Hocheng H, Tsai H Y, Tsai M S. Effects of kinematic variables on nonuniformity in chemical mechanical planarization. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000, 40(11):1651
- [7] Tso P L, Wang Y Y, Tsai M J. A study of carrier motion on a dual-face CMP machine. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 116(2/3):194
- [8] Tich J, Levert J A, Shan L, et al. Contact mechanics and lubrication hydrodynamics modeling for chemical-mechanical polishing. J Electrochem Soc, 1999, 146(4):1523
- [9] Warnock J. A two-dimensional process model for chemimechanical polish planarization. J Electrochem Soc, 1991, 138(8):2398
- [10] Runnels S R, Eymann L M. Tribology analysis of chemical-mechanical polishing. J Electrochem Soc, 1994, 141(6):1698
- [11] Shi F G, Zhao B. Modeling of chemical-mechanical polishing with soft pads. Appl Phys A, 1998, 67(2):249
- [12] Zhao Y W, Chang L. A micro-contact and wear model for chemical-mechanical polishing of silicon wafers. Wear, 2002, 252(3/4):220

Kinematic Mechanism of Chemical Mechanical Polishing in ULSI Manufacturing*

Su Jianxiu^{1,2}, Guo Dongming¹, Kang Renke¹, Jin Zhuji¹, and Li Xiujuan¹

(1 *Key Laboratory for Precision and Non-Traditional Machining Technology of Ministry of Education,*

Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

(2 *Henan Institute of Science & Technology, Xinxiang 453003, China)*

Abstract: According to the kinematic relationship between polishing head and polishing table, the kinematic traces of abrasives on wafer surface are calculated, and the effects of the kinematic variables, such as rotation speeds and directions of polishing head and polishing table, length of oscillating arm, oscillating period and amplitude of polishing head, upon material removal rate (MRR) and nonuniformity of wafer surface are theoretically analyzed. It is indicated that the optimal nonuniformity of wafer surface and material removal rate can be obtained under the wafer and the pad rotating in the same direction with the equal rotational speed. The analytical results provide theoretical guide to design CMP equipment, select the kinematic variables of CMP and further understand the material removal mechanism of wafer in CMP.

Key words: chemical mechanical polishing; material removal mechanism; material removal rate; nonuniformity; abrasives

EEACC: 2220; 2550; 8620

Article ID: 0253-4177(2005)03-0606-07

* Project supported by the Major Program of National Natural Science Foundation of China (No. 50390061)

Su Jianxiu male, professor, PhD candidate. His research interests are in area of ultra-precision and non-traditional machining, especially in CMP.

Guo Dongming male, professor, advisor of PhD candidates. His research interests include precision & non-traditional machining, precision measurement and numerical design and manufacturing.

Kang Renke male, professor, advisor of PhD candidates. His research interests include ultra-precision & non-traditional machining and precision measurement.

Received 2 March 2004, revised manuscript received 15 July 2004

© 2005 Chinese Institute of Electronics