

铜在含碘酸钾的 CeO_2 浆料中 CMP 的 抛光速率及影响因素的研究

胡建东¹, 李永绣^{1,2}, 周雪珍¹

(1. 南昌大学材料科学与工程学院, 南昌 330031; 2. 南昌大学理学院, 南昌 330047)

摘要:研究了氧化剂碘酸钾及抛光粒子 CeO_2 的浓度、抛光转速和抛光压力对铜的化学机械抛光速率的影响,并初步解释了影响因素的机理。实验表明在一定范围内材料的去除速率与抛光压力、抛光转速的关系可以用 Preston 方程的一般式 $R = KP V$ 来表示,并据此可得到 K 和 P 的值;而氧化剂和抛光粉浓度对抛光速率的影响无明确的规律。在 0.2 mol/L KIO_3 + 5% CeO_2 、压力 11.703 kPa、转速 25 r/min 的条件下,铜去除速率为 43.9 nm/min,抛光效果 $R_a = 10.9$ nm, $R_{\max} = 112$ nm。

关键词: 铜;CMP; CeO_2 ;抛光速率;影响因素

中图分类号:TG146.1+1 文献标识码:A 文章编号:1007-7545(2007)04-0053-03

Polishing Rate and Dependent Factors of Copper in CeO_2 Slurry Containing KIO_3 during CMP

HU Jian-dong¹, LI Yong-xiu^{1,2}, ZHOU Xue-zhen¹

(1 School of Science and Technology of Material, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2. School of Science, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: Dependence of removal rate of copper on oxidizer KIO_3 , CeO_2 abrasives and polishing pressure, rotating rates were investigated, and the dependent mechanism were explained primarily. The results show that the relationship between the material removal rate and polishing pressure, rotative rates confirms the generalized forms of Preston's equation $R = KP V$ within some range, while rules of influence of concentration of oxidizer and abrasive on removal rates was not found clearly. In the condition of 0.2 mol/L KIO_3 + 15% CeO_2 + 11.703 kPa + 25 r/min, the removal rate of copper was 43.9 nm/min, and $R_a = 10.9$ nm, $R_{\max} = 112$ nm.

Key words: Copper;CMP; CeO_2 ;Polishing rotating rate;Factors

化学机械抛光(CMP)是目前唯一能提供超大规模集成电路制造过程中全面平坦化的一种新技术^[1-2]。铜由于它的优越的导电性和高的抗电迁移性,正取代铝作为集成电路中的互连金属导线材料^[1,3]。 CeO_2 由于化学活性高、硬度较小,在抛光过程中不容易刮伤抛光面,从而保证有好的表面平整度;且 CeO_2 粒子在抛光过程中的化学腐蚀作用,使

其具有抛光速率快的优点,因此广泛的用于在 CMP 上^[4]。

化学机械抛光实际上是一个化学作用和机械作用相结合的组合过程,化学机械抛光速率的大小不仅与工件的性质和抛光垫片的性质和表面粗糙度、形貌有关,而且与抛光液的化学组成、抛光粒子的浓度、抛光压力和抛光转速等有关。Preston^[5]于 1924

作者简介:胡建东(1968-),男,江西临川人,博士研究生

年根据玻璃抛光工艺总结出了一个抛光速率的经验公式,即 Preston 方程:

$$R = H / t = KP^a V^b$$

其中,R为抛光速率(nm/min);H为抛光磨损的厚度(nm);t为抛光时间(min);K为Preston系数;P为抛光压力(kPa);V抛光垫片和抛光工件的相对速度(r/min)。该经验方程用于CMP过程时,抛光速率与压力P和转速V的关系与抛光状况有很大的关系,后人在此基础上做了一个修正^[6-7],亦即更普遍 Preston 方程:R = KP^a V^b。及K与许多因素有关,如抛光粒子的种类、性质、粒子的大小与分布、抛光垫片的性质和表面粗糙度、抛光浆料的pH、离子强度和温度等有关。本实验以碘酸钾氧化剂,以CeO₂为抛光粉对铜CMP时的抛光速率及其影响因素进行研究讨论。

1 实验部分

实验试剂:自制的CeO₂抛光粉(一次粒子约为30~50nm,激光粒度仪测得的粒径D₅₀=0.46μm),碘酸钾,二次蒸馏水,纯铜片。实验仪器:UNIPOL802精密研磨抛光机,FA1104电子天平,CSPM-3100原子力显微镜,真空干燥箱。实验方法:铜片在用砂纸打磨后,在研磨抛光机上进行抛光,抛光垫为聚氨脂,以CeO₂抛光粉为抛光粒子,每次抛光时间15min,以三次抛光为一组。抛光速率以抛光前后铜片的质量差换算成单位时间的厚度变化,抛光后表面质量采用原子力显微镜观察。

2 结果与讨论

2.1 抛光压力与抛光速度的影响

图1显示了抛光压力与抛光速率关系影响,在25r/min的条件下,抛光速率随抛光压力的增大而增大,但是随压力逐渐增大,抛光速率的增加程度变化逐渐变小。同时增大压力,工件的表面粗糙度将变差。图2为在11.703kPa的压力条件下,铜CMP速率与抛光盘相对转速的关系,从图2我们可以看到材料的去除速率在所考察的范围内,随转动速度的增大而增大,但变化的幅度也在逐渐的减小。将图1和图2的数据代入Preston方程一般公式R = KP^a V^b,并据此可求出K, a, b的值。所得结果为a = 5/6, b = 2/3, K = 0.661。

2.2 CeO₂ 抛光粉浓度与抛光速率的关系

在一定抛光压力和抛光转速条件下,用不同浓度的CeO₂抛光液进行抛光,所得结果见图3。

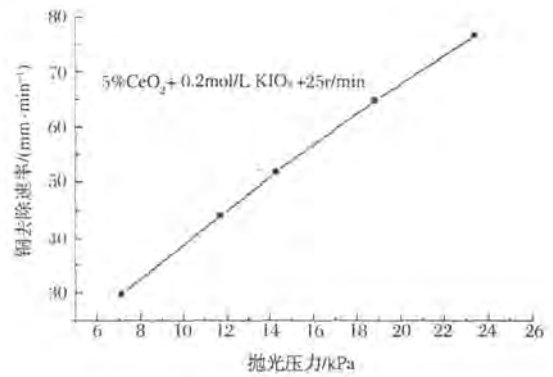


图1 铜去除速率与压力的关系

Fig 1 Relationship between polishing pressure and removal rate of copper

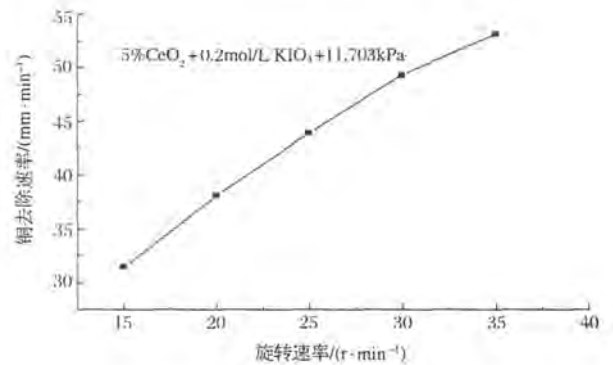


图2 铜去除速率与旋转速率的关系

Fig 2 Relationship between rotating rate and removal rate of copper

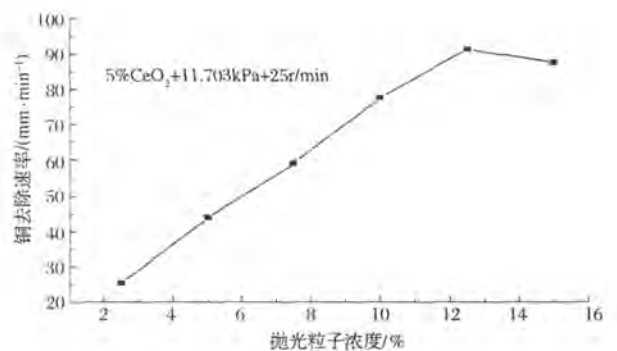


图3 铜去除速率与抛光粒子浓度的关系

Fig 3 Relationship between particle concentration and removal rate of copper

由图3可以看出,随着抛光粒子浓度的增大,工件与抛光垫片之间的颗粒增多,参与去除氧化薄层的颗粒多,材料的去除速率增大,基本上符合认为在使用软质抛光垫片时,材料去除速率主要由工件与

垫片接触区域的总粒子数所决定的接触力学模型^[8-9]。但是在浓度达到15%左右,抛光速率达到最大值,随着浓度的继续增加,抛光能力反而下降,说明此时一方面氧化物薄层的生成速度赶不上而破坏了化学-机械作用的平衡,化学作用和机械作用不再匹配,抛光粉粒子将直接作用到工件铜的表面上,形成划痕刻伤,所得到的表面也不光滑;另一方面抛光粉浓度高,因颗粒之间的距离更近而出现团聚的趋势也增大,因此对抛光浆料来说,抛光粉的浓度保持在一个合适的条件下,才能发挥最大的效应,既保持了高的材料去除速率,又不损伤表面。

2.3 碘酸钾浓度对抛光速率的影响

由于在CMP中工件表面需要有氧化剂与之反应,生成比工件本身硬度小的反应薄层才能进行化学机械抛光,因此氧化剂的浓度对薄层的生成速度,进而对化学机械抛光材料去除速率有重要的影响。图4为氧化剂碘酸钾的浓度对抛光速率的影响。

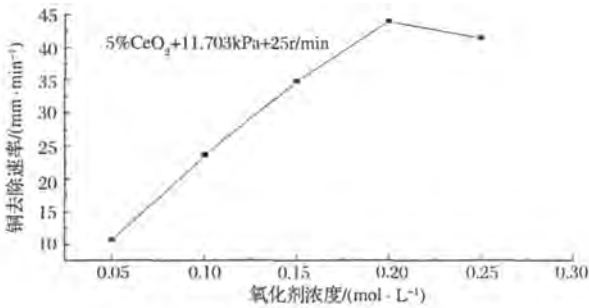


图4 铜去除速率与氧化剂浓度的关系
Fig 4 Effect of oxidizer concentration on removal rate of Cu

图4可以看出,当碘酸钾的浓度为0.2 mol/L时,抛光速率最大,当低于此浓度时,由于生成氧化反应物薄层的速度不足,而使抛光速率降低。而大于该浓度时,因降低了氧化物薄层的厚度及增加了可能的再沉积作用导致抛光速率降低。

2.4 表面质量

将在5% CeO₂ + 0.2 mol/L KIO₃ + 11.703 kPa + 25 r/min条件下,抛光30 min的铜片清洗干燥后,以原子力显微镜观察表面质量,结果见图5。图5数据结果为R_a = 10.9 nm, R_{max} = 112 nm。

3 结论

在采用软质聚氨脂抛光垫下,抛光速率(R)与

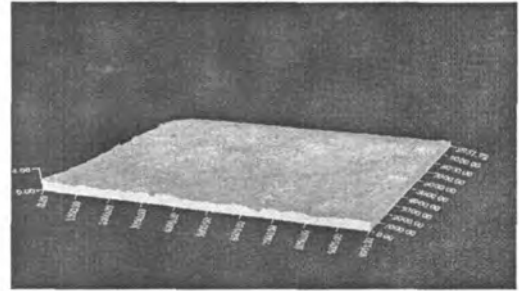


图5 抛光后铜的原子力显微镜图

Fig 5 AFM image of copper after polishing
抛光压力(P)、抛光转速(V)的关系可以用一般的Preston方程,即R = KP V 来表示,并求出该条件下 = 5/6, = 2/3。K与抛光粉粒子的用量和氧化剂浓度有关,在5% CeO₂和0.2 mol/L KIO₃条件下K = 0.661,此时抛光速率为43.9 nm/min,表面质量为R_a = 10.9 nm, R_{max} = 120 nm。而在12.5% CeO₂ + 0.2 mol/L KIO₃ + 11.703 kPa + 25 r/min的条件下,铜的抛光速率为91.3 nm/min。

参考文献

- [1]刘玉岭,王弘英,王新. ULSI制备中Cu布线的CMP技术抛光液的研究[J]. 半导体技术,2001,26(8):65-69.
- [2]雷红,张朝辉,张朝辉. 化学机械抛光技术的研究进展[J]. 上海大学学报(自然科学版),2003,9(6):494-502.
- [3]张兆强,郑国祥,黄榕旭,等. 铜互连布线及其镶嵌技术在深亚微米IC工艺中的应用[J]. 固体电子学研究与进展,2001,21(4):407-411.
- [4]宋晓岚,杨振华,邱关周,等. 纳米氧化铈在高新技术领域中的应用及其制备研究进展[J]. 材料导报,2003,17(12):36-39.
- [5]Preston F W. The theory and design of plate glass polishing machines[J]. J. Soc. Glass Technol.,1927,11:214-256.
- [6]Tseng W T, Wang YL, Chin J H. Modeling of the wear mechanism during chemical-mechanical polishing [J]. J. Electrochem. Soc., 1997,145:144-151.
- [7]Shi F G, ZHAO B. Modeling of chemical mechanical polishing with soft pads[J]. Applied Physics A (Materials Science & Processing), 1998,67(2):249-252.
- [8]LUO J F, DOMFELD D A. Material removal mechanism in chemical mechanical polishing: Theory and modeling [J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2001,14(2):112-133.
- [9]LUO J F, DOMFELD D A. Material removal regions in chemical mechanical planarization for submicron integrated circuit fabrication, and wafer-pad contact area [J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2003,16(1):45-56.