

集成电路的化学机械抛光 (CMP) 材料 去除机理研究进展

范 娜, 张忠义, 胡 群, 陈传东, 赵思远, 岳帅军, 刘 杨, 崔燕英, 李晓佩*

(包头稀土研究院, 内蒙古 包头 014030)

摘 要:本文系统地总结了集成电路制作过程中浅沟隔离槽 (Shallow trench isolation, STI)、层间介质 (Inter level dielectric, ILD) 以及金属层等的化学机械抛光研究进展。在浅沟隔离槽的化学机械抛光过程中, 材料去除机理与稀土抛光材料中的三价铈的含量密切相关, 材料表面三价铈的含量越高, 抛光速率越快。在层间介质的化学机械抛光过程中, Cook 提出弹性接触理论较好地解释了材料去除机理。在金属膜层的化学机械抛光过程中, 材料去除机理涉及金属表面被氧化生成其氧化物后通过机械抛光作用而达到材料去除的目的。

关键词:集成电路; 化学机械抛光; 氧化铈抛光液; 材料去除机理; 研究进展

中图分类号: TN305.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-0277(2026)02-0144-08

化学机械抛光 (CMP) 或者化学机械平坦化技术与平板印刷术、蚀刻术以及薄膜沉积技术相比, 是半导体加工过程中的一种新技术。在 1950 年, 抛光技术首次被应用于硅片的表面加工, 实现表面的光滑平整^[1,2]; 1980 年, 代替反应离子刻蚀技术用于集成电路组装过程中平坦化层间介质层^[3]。之后首次有相关论文报道^[4], 从此层间介质 CMP 不仅在该领域得到应用, 而且扩展到钨、铜以及浅沟隔离槽的平坦化。在先进半导体领域, 层间介质 CMP 不再是简单的层间介质平坦化过程, 同时由于半导体技术的革新以及结构创新, 层间介质 CMP 的工艺次数达到了 20~30 次。为了满足这些严格的

CMP 过程要求, 各种抛光材料的消耗、抛光工艺的控制、适当的抛光液的选择、抛光终点的自动控制以及可以满足大抛光件抛光的固体抛光垫的研究开发等, 都是未来需要攻克的课题。

由第三主族元素镓和第五主族元素氮组成的氮化镓 (GaN) 是继第一代半导体材料锗和硅, 第二代半导体材料 GaAs 和 InP 之后的第三代半导体材料。由于其具有宽的能带、强的原子键、高的热导、较好的化学稳定性和强的抗辐射能力等特性, 从而具有较为广泛的用途, 如用在光电子器件、高温和高功率器件以及高频微波器件等。氮化镓半导体之所以吸引全球研究者关注, 主要由于其高的热

收稿日期: 2023-09-12

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目 (2021MS02007); 内蒙古自治区重大科技专项 (2021ZD0028); 北方稀土项目 (BFXT-2022-D-0021; BFXT-2024-D-0007); 包头稀土研究院项目 (2025Z2636)

作者简介: 范 娜 (1991-), 内蒙古呼和浩特人, 硕士, 工程师, 主要从事稀土抛光材料的研究, E-mail: fn@brire.com

共同一作: 张忠义 (1963-), 内蒙古包头人, 博士, 正高级工程师, 主要从事稀土抛光材料的研究, E-mail: zhang_zhyi@163.com

* 通信作者: 李晓佩, 高级工程师, E-mail: xplee@brire.com

DOI: 10.3724/S1004-0277.202602015

阻、优异的机械性能、化学惰性、高的击穿电压和操作电流,将其组装于蓝宝石基底上用作液晶显示器的光源—即发光二极管。由于氮化镓晶体与蓝宝石结构的不同,晶格的热膨胀性具有很大的区别,制作过程中会使氮化镓晶体产生许多缺陷和非常粗糙的表面,从而影响组装成器件的性能,因此制作成的氮化镓膜必须具有原子级的光滑表面,并且没有缺陷,这就需要用化学机械抛光来达到以上要求。而氮化镓较高的硬度和化学惰性,如何通过化学机械抛光工艺,在实现较高材料去除率的同时,获得原子级平整的表面,是该领域极具挑战性的研究课题。本文就涉及集成电路制作过程中的浅沟隔离槽、层间介质以及金属膜层的化学机械抛光材料去除机理进行了分析和总结,并对稀土抛光材料在第三代半导体抛光领域的应用前景进行了展望。

1 化学机械抛光的基础理论

机械抛光过程模型是在1927年Preston^[4]提出的,根据其在玻璃加工工业的经验,提出了Preston方程,即抛光去除率与相对压力和转速成正比,计算公式为式(1):

$$\text{MRR} = K_p \times P \times V \quad (1)$$

式中:MRR (Materials removal rate) 为抛光去除率, K_p 为Preston系数 $[\text{nm} \cdot \text{min}/(\text{kPa} \cdot \text{m/s})]$, P 和 V 为相对压力(kPa)和转速(m/s)。根据该方程,在压力和转速固定的情况下,抛光去除率(即抛光效率)是不变的,而实际的抛光过程中抛光去除率是与许多因素有关的,不仅与抛光材料的粒度大小和形貌有关,还与抛光液的化学性质密切相关^[5]。例如,金属钨的抛光,随着抛光材料粒度的增加,抛光速率减小;而金属铜的抛光,抛光速率没有固定的变化规律,同时随着抛光过程的进行,抛光速率是逐渐下降的。因此,Preston方程不能完全解释抛光机理,而认为Preston系数是一个变量,与实际抛光过程中的许多因素有关。实际抛光过程中,由于使用不同粒度的抛光材料和不同组分配比的抛光液,该机理更不能进行合理的解释,而使用弹性接触模

型解释更趋于合理。在先进半导体的组装过程中,Preston方程已经不能解释现代CMP的抛光材料去除机理,这是因为除了压力和转速以外,还有许多过程因素对材料去除机理具有较大的影响。

1990年,Cook^[6]报道了CMP的抛光去除机理,提出了“Chemical tooth”原理,较好地解释了化学机械抛光材料的去除机理。在光学玻璃抛光中,有五个因素会影响材料去除效率:(1)水通过弥散进入玻璃表面的速率;(2)在压力的作用下,玻璃的溶解;(3)溶解材料在抛光材料表面的吸附速率;(4)溶解材料在玻璃表面的再沉积;(5)颗粒碰撞期间的溶液腐蚀。水的扩散速度受压力和温度的控制并渗入硅氧烷键,这些水合的氧化物被抛光材料去除,达到抛光的目标。机械抛光机理的理解是与被抛光件表面的摩擦力密切相关,摩擦力直接应用于被抛光件表面的压力成正比关系,在未使用抛光液的情况下,固定抛光头的转速时,摩擦力是一个常数;而使用了抛光液之后,摩擦力是减小的。在抛光液的作用下,被抛光件和抛光垫之间会形成一层膜,其厚度影响摩擦力的大小,而该膜与抛光压力和转速相关,压力越大,该膜越薄,被抛光件与抛光液中的抛光材料以及抛光垫相互作用增强,机械抛光作用增强;在转速增加时,该膜的厚度增加,被抛光件与抛光液中的抛光材料以及抛光垫相互作用减弱,机械抛光作用减小。在化学机械抛光过程中,为了理解材料去除机理的动力学过程,探究被抛光件的材料去除量随滑动距离的变化关系,在较低的转速情况下可获得最大的材料去除量,随着转速的增加,材料去除量减小,这一现象表明,转速变化可能通过改变晶圆与抛光垫的接触状态,从而影响材料去除效率,进而说明材料去除机理与晶圆和抛光垫垂直距离存在关联。

在抛光过程中,磨料分布于晶圆和抛光垫的表面,通过两者的相对运动来实现抛光,因此,相互接触面积越大,去除率越高。为了更好地理解抛光去除机理,通过设计一个简单的实验来区别抛光过程中的机械抛光和化学抛光对去除率贡献,将特定的

抛光液经过滤实现固液分离,流液作为化学抛光的抛光液,固体与去离子水混合配制成机械抛光液。从图 1 中可以看出,化学抛光的材料去除量几乎是零(即没有抛光去除)。因此,仅用化学抛光是没有效果的,而机械抛光约占整个化学机械抛光的 40%~60%,说明机械抛光在抛光中起着较为重要的作用。

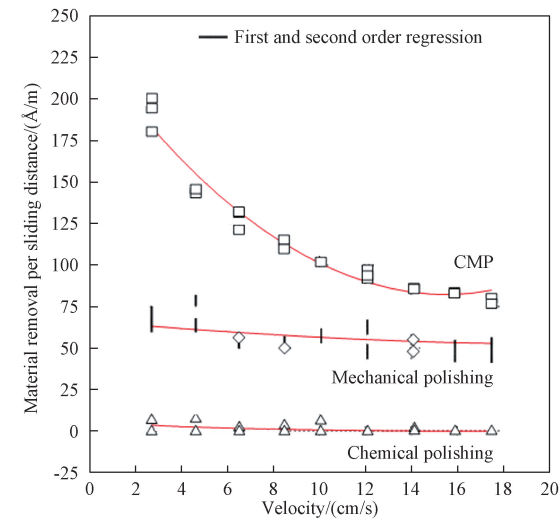


图 1 机械抛光、化学抛光和化学机械抛光材料去除量随抛光滑动距离的变化^[7]

Fig. 1 Materials removal rates change with the sliding distances in the processes of mechanical polishing, chemical polishing and chemical mechanical polishing^[7]

2 浅沟隔离槽的 CMP 材料去除机理

在半导体集成电路的组装过程中,浅沟隔离槽(STI)的抛光是非常重要的环节,不仅影响集成电路的质量,而且还影响其产量。浅沟隔离槽的抛光是通过化学机械抛光,有效地去除由化学气相沉积(CVD)的过量绝缘氧化物^[8,9],一般是二氧化硅,同时创造活性晶体管间的绝缘隔离来保证集成电路的特性。随着半导体领域先进技术的不断发展,集成电路器件的逐渐小型化,对浅沟隔离槽的抛光要求也变得更为严苛。化学气相沉积法是一个非常有效的方法,尤其在非常小型化的浅沟隔离槽充填绝缘氧化物,可以达到高密度和高强度的效果,而

对其进行抛光时,需要较快的抛光速率去除掉约 50 nm~100 nm 厚的氧化物绝缘层,虽然使用成本较低的二氧化硅抛光液可以获得较高的抛光去除率,并在较高的抛光压力下(2 psi~4 psi)获得高氧化物去除率^[10],但同时会产生过抛光过程而影响集成电路的质量。因此,选择氧化铈抛光液进行抛光是优选方案,这是因为氧化铈抛光液对二氧化硅和氮化硅具有较高的抛光选择性^[11]。为了保证完全去除氧化物绝缘层并使氮化硅表面保持原子级的表面质量,该抛光过程是集成电路制造中非常关键的步骤,这对氧化铈抛光液提出较高的要求。不仅氧化铈抛光粒子具有较高的纯度,而且其中心粒径、粒度分布、铈离子的氧化态以及抛光液的酸碱性和功能组分的选择,都会对抛光质量产生较大的影响。其中 Ce^{3+} 的含量对抛光速率的影响较大^[12],如表 1 所示,随着晶粒尺寸的减小, Ce^{3+} 的含量逐渐增加,对二氧化硅的抛光速率加快。

表 1 浅沟隔离槽的抛光速率随三价铈含量的变化

Table 1 Polishing rate of shallow trench isolation trenches is influenced by the concentration of trivalent cerium

Grain size/nm	Ce^{3+} / %	SiO_2 MRR/ (nm/min)	Si_3N_4 MRR/ (nm/min)
14. 7	24. 0	430. 1	55. 1
27. 2	21. 8	389. 0	50. 9
50. 6	15. 6	313. 4	48. 5

随着半导体技术的进步,微电子芯片中器件尺寸逐渐缩小,晶体管密度增大,对器件隔离提出了更高的要求。浅沟槽隔离作为当今最常用的器件隔离技术,是一种通过蚀刻具有氮化硅顶层的硅衬底来形成隔离沟槽并填充绝缘层间介质如二氧化硅来实现隔离的方法,其工艺流程如图 2 所示。其中第一步浅沟隔离槽化学机械抛光主要是去除大量的通过化学气相沉积方法制备的氧化物绝缘材料,第二步是去除残留的氧化物,使氮化物活性层裸露出来并保持最少的缺陷。由于该抛光过程与

活性氮化物层接触,如果产生抛光划痕会导致致命的结果而影响集成电路芯片的质量,因此抛光终止点的确定成为该抛光过程极其重要的环节^[13]。

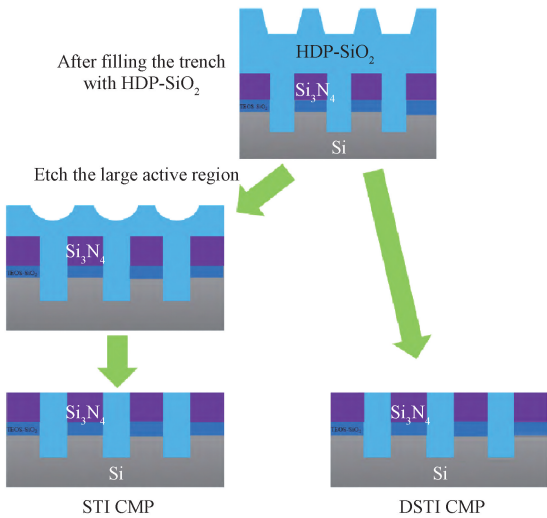


图 2 STI CMP 的工艺流程示意图^[14]

Fig. 2 Schematic diagram showing the process flows of STI CMP^[14]

3 氧化物层间介质的 CMP 材料去除机理

氧化物层间介质是集成电路制造中用于隔离不同金属布线层的绝缘材料,主要作用是防止相邻金属层之间发生短路,同时为上层金属布线提供物理支撑。层间介质(ILD)材料包括 SiO₂、BPSG、PSG、Polymers、Si₃N₄ 等,其中 SiO₂ 是最常用的层间介质材料,其平整度将影响后续金属层的制造^[15]。目前常用的方法是以 SiO₂ 或 CeO₂ 为磨料的抛光方法。

在半导体器件的组装过程中,氧化物 ILD 的化学机械抛光是普遍使用的抛光工艺,该抛光过程的目的是去除沉积在集成电路晶体管上的氧化物,氧化物层是用来使 FEOL(Front-end-of line)和 BEOL(Back-end-of-line)的金属化区域形成绝缘区域,同时抛光过程的实施要达到平坦化的要求。通过该抛光过程的实施,也要形成金属间的能够接触区域,以保障 FEOL 和 BEOL 之间的信号畅通。实际

上,氧化物 ILD 的化学机械抛光是两步抛光过程,其中第一步抛光过程是去除掉大量的 ILD 氧化物层,如图 3 所示,为了获得高的抛光去除率和平坦化效率,使用二氧化硅抛光液和硬抛光垫;第二步抛光过程选择较温和的条件进行,低的抛光压力、软抛光垫、胶体二氧化硅抛光去掉遗留氧化物,因此第二步抛光过程的主要目的是去除第一步抛光产生的缺陷和划痕,同时精确控制氧化物的厚度。如果在氧化物 ILD 抛光后其表面有缺陷和划痕,会引起接触不良以及金属钨残留在划痕中而引起短路,另外,抛光的终止点必须要保持在氧化物膜上。在相同条件下,CeO₂ 的抛光速率大于 SiO₂,对于 CeO₂ 抛光液,其浓度一般要小于 SiO₂,同时,CeO₂ 抛光液具有化学腐蚀与机械研磨的协同作用,因此为了精确控制抛光过程,应该选择氧化铈抛光液^[16]。

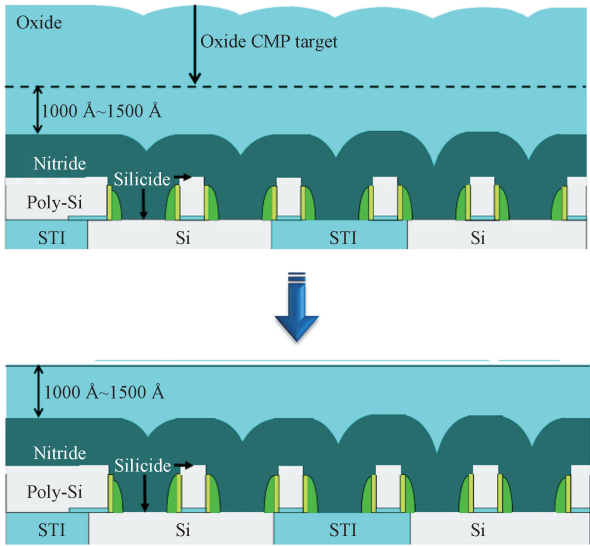


图 3 氧化物 ILD 的化学机械抛光

Fig. 3 Schematic of the oxide ILD CMP process

Cheng 等^[17]研究了稀土(La, Nd 和 Yb)掺杂 CeO₂ 磨料颗粒对介电材料的化学机械抛光,在化学机械抛光过程中,CeO₂ 中的 Ce³⁺有助于 Si—O 键的断裂,而不是 Ce⁴⁺,为了提高 CeO₂ 中 Ce³⁺的含量,制备了镧系金属掺杂的 CeO₂ 纳米粒子。实验表明,掺杂的 CeO₂ 能明显提高硅片的抛光率和表面

质量,特别是 Nd/CeO₂ 抛光率提高了 29.6%。Han 等^[18]研究发现,在相同的 pH 值下,二氧化铈颗粒在浸渍和抛光时会有不同的附着行为。在 CMP 过程中,与较低的 pH 值相比,在较高的 pH 下观察到的二氧化铈附着力较高,这与 CMP 抛光时形成的强 Ce—O—Si 化学键有关。化学机械平面化和 CMP 后清洁同等重要,两者都会直接影响半导体器件的良率和性能。Myong 等^[19]研究发现,随着 Ce³⁺ 表面浓度的增加,CeO₂ 与 SiO₂ 的粘附能以及 CeO₂ 纳米颗粒在 SiO₂ 表面的吸附速率增加,两者相互作用会增强,由此说明降低表面 Ce³⁺ 的浓度有利于 CMP 后清洁。

4 金属的 CMP 材料去除机理

随着集成电路(IC)技术的不断发展,对布线材

料的要求也越来越高,铜凭借其较低的电阻率与优越的抗电迁移性能逐渐替代铝成为互连材料首选^[20]。为了阻止铜扩散到 IC 的器件或衬底中,研究人员提出在互连金属与衬底之间引入阻挡层,阻挡层材料的选择对于抑制 Cu 扩散以及减小 RC (Resistor-capacitor) 延迟均有着至关重要的作用。传统的钽/氮化钽(Ta/TaN)因其较高的电阻率和沟槽填充的不均匀,使其不能满足低技术节点 IC 的工艺需求。因此,钴(Co)、钌(Ru)等新型阻挡层材料开始受到广泛关注^[21]。随着布线层数的不断增加,CMP 成为铜互连 IC 制造过程中不可或缺的工序。在铜互连 CMP 过程中^[22](图 4),逐渐朝着低压的方向发展,抛光液的组分与配比的选择直接影响了抛光的效果,因此铜互连 CMP 被多数研究者重点研究。

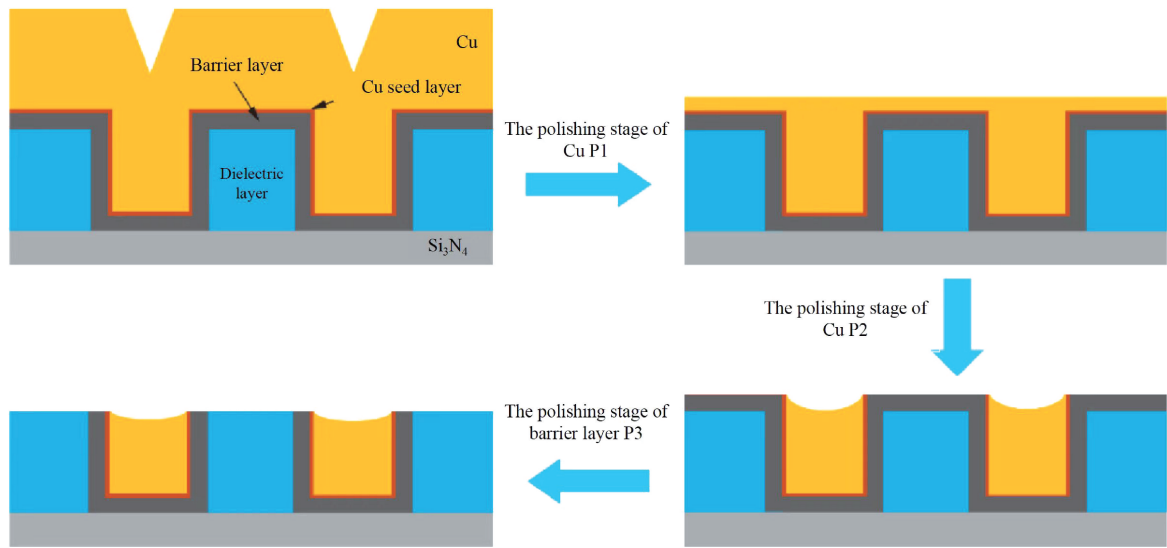


图 4 铜的化学机械抛光流程^[22]

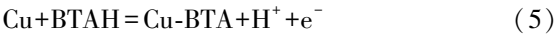
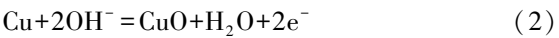
Fig. 4 The chemical mechanical polishing process of copper^[22]

在金属的 CMP 中,抛光液的化学组分起着较为重要的作用,同时抛光过程中的电化学反应也是一个非常重要的因素。Li 等^[23]和 Cao 等^[24]在抛光过程中,引入抛光材料、表面活性剂、消泡剂等,其中加入的氧化剂、络合剂和溶解抑制剂起着决定性作用,实验结果证明,通过加入的这些化学试剂,抛光去除就是经化学反应或者电化学反应进行而实

现的。Shi 等^[25]和 Turk 等^[26]通过在碱性抛光液中加入过氧化氢作为氧化剂或络合剂对金属钴和锰进行抛光,均生成对应的氢氧化物;Sulyma 等^[27]在铜、钼和钌的抛光过程中,抛光液选择酸性(pH=3~6),加入过氧化氢作为氧化剂,反丁烯二酸作为络合剂,分别发生氧化反应和络合反应,进而达到抛光去除的目的;在金属膜层的抛光过程中,由于抛

光液的酸碱性,往往会引起金属膜层的溶解而影响抛光表面质量;Hong 等^[28]通过在抛光液中加入苯丙三氮唑(BTA)作为缓蚀剂,可以在金属铜表面形成保护层而降低铜的溶解,保证抛光表面质量。

在金属膜层的化学机械抛光过程中,会发生一些电化学反应^[29~32],包括铜的氧化等反应,如以下反应:



其中阴极反应和阳极反应是伴随发生的,同时络合反应也可以提高抛光去除速率与表面质量。

5 结语与展望

稀土抛光材料是指含有稀土元素(主要以氧化铈为主)的抛光材料,能够对被抛光元件(如玻璃平面或者曲面、光掩膜、硅晶圆、集成电路浅沟隔离槽以及第三代半导体氮化镓和碳化硅等)进行表面平坦化处理,其具有抛光效率高、划痕和缺陷少,被誉为“抛光之王”的称号。虽然稀土抛光材料已经在玻璃基底和集成电路浅沟隔离槽的抛光中得到了广泛应用,但随着科学技术的不断发展,针对第三代半导体氮化镓、碳化硅等基底,目前尚未开发出高效的抛光材料,需要一些外部能量(如紫外光照射等)来提高抛光效率。根据报道,抛光液中的氢氧根自由基可以提高第三代半导体氮化镓和碳化硅的抛光去除率,因此合成的稀土抛光材料如何能够在水基抛光液中产生氢氧根自由基是一个极具挑战性的课题。

在现代半导体器件组装过程中,需实现原子级、无缺陷的工艺控制,以此保障集成电路的质量和性能。抛光终止点的精确控制,也是一个较难达到的目标,尤其在集成电路浅沟隔离槽的抛光中,引起过抛光将是非常严重的问题,除需选用抛光选择性较高的氧化铈抛光液以外,还需实现氮化硅抛光去除率低于 5 nm 且表面无缺陷的目标,这也是

该领域未来的重要研究方向。随着科学技术的不断进步,先进半导体组装对高集成度与原子级规模控制的要求不断提升,各类新型技术被用于制作过程中,同时也推动科研人员持续开展创新研究。

参考文献:

[1] Bonora A C. Flex-mount polishing of silicon wafers[J]. Microelectronics Reliability, 1978, 17(3): 356.

[2] Wolf S, Tauber R N. Silicon Processing for the Vlsi Era Volume 1[M]. Sunset Beach: Lattice Press, 1986.

[3] Burggraaf P. CMP: Suppliers integrating, applications spreading[J]. Semiconductor International, 1995, 18: 74-82.

[4] Preston F W. The theory and design of plate glass polishing machine[J]. Journal of the Society of Glass Technology, 1927, 11: 214-256.

[5] Kim N Y, Hwang U, Sung J, et al. Particle size dependence of nanoclustered ceria abrasives on surface activity and chemical mechanical planarization performance[J]. Applied Surface Science, 2024, 663: 160123.

[6] Cook L M. Chemical processes in glass polishing[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 1990, 120(1-3): 152-171.

[7] Moon Y. Mechanical Aspects of the Material Removal Mechanism in Chemical Mechanical Polishing (CMP) [D]. Berkeley: University of California, Berkeley, 1999.

[8] Williams J A. Engineering Tribology[M]. Oxford: Oxford University Press, 1994.

[9] 勾鹏, 刘巍, 景旭斌. 浅沟槽隔离工艺对 NMOS 器件的影响研究[J]. 电子技术, 2020, 49(2): 22-24.

Gou P, Liu W, Jing X B. Study on influence of shallow trench isolation technology on NMOS devices[J]. Electronic Technology, 2020, 49(2): 22-24.

[10] Golini D, Jacobs S D. Physics of loose abrasive microgrinding[J]. Applied Optics, 1991, 30(19): 2761-2777.

[11] 续晨. STI 化学机械抛光 HDP/Si₃N₄ 速率选择性及平坦化机理的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2022.

Xu C. Study on Rate Selectivity and Planarization

- Mechanism of HDP/ Si_3N_4 in STI CMP [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2022.
- [12] Kim K, Yi D K, Paik U. Increase in Ce^{3+} concentration of ceria nanoparticles for high removal rate of SiO_2 in chemical mechanical planarization[J]. ECS Journal of Solid State Science and Technology, 2017, 6(9): 681-685.
- [13] 张月, 周建伟, 王辰伟, 等. 聚乙二醇对浅沟槽隔离中 SiO_2 和 Si_3N_4 化学机械抛光速率选择性的影响[J]. 电镀与涂饰, 2022, 41(21): 1546-1551.
- Zhang Y, Zhou J W, Wang C W, et al. Effect of polyethylene glycol on removal rate selectivity of SiO_2 and Si_3N_4 in chemical mechanical polishing of shallow trench isolation[J]. Electroplating & Finishing, 2022, 41(21): 1546-1551.
- [14] 张国林, 王胜利, 王辰伟, 等. 4-羟基苯甲酸对 DSTI 化学机械抛光 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 去除选择性的影响[J]. 电镀与涂饰, 2023, 42(13): 75-82.
- Zhang G L, Wang S L, Wang C W, et al. Effect of 4-hydroxybenzoic acid on removal selectivity of $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ during chemical mechanical polishing of direct shallow trench isolation[J]. Electroplating & Finishing, 2023, 42(13): 75-82.
- [15] 郭权锋. 二氧化硅介质层 CMP 抛光液配方研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- Guo Q F. Study on CMP Slurry Prescription of SiO_2 ILD [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006.
- [16] 王也. 用于氧化硅介质层 CMP 的氧化铈抛光液组分优化研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2023.
- Wang Y. Optimization of CeO_2 Slurry Components for CMP in Silica Dielectric Layer [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2023.
- [17] Cheng J, Huang S, Li Y, et al. RE (La, Nd and Yb) doped CeO_2 abrasive particles for chemical mechanical polishing of dielectric materials: Experimental and computational analysis[J]. Applied Surface Science, 2020, 506: 144668.
- [18] Han K M, Han S Y, Sahir S, et al. Contamination mechanism of ceria particles on the oxide surface after the CMP process[J]. ECS Journal of Solid State Science and Technology, 2020, 9(12): 124004.
- [19] Myong K K, Byun J, Choo M J, et al. Direct and quantitative study of ceria- SiO_2 interaction depending on Ce^{3+} concentration for chemical mechanical planarization (CMP) cleaning[J]. Materials Science in Semiconductor Processing, 2021, 122: 105500.
- [20] 张力飞, 路新春, 张佳磊, 等. 钴化学机械抛光中抛光液及清洗剂的研究进展[J]. 材料导报, 2025, 39(6): 226-235.
- Zhang L F, Lu X C, Zhang J L, et al. Research progress of polishing slurry and cleaning solution in chemical mechanical polishing process for cobalt[J]. Materials Reports, 2025, 39(6): 226-235.
- [21] 李雯浩宇, 高宝红, 霍金向, 等. IC 互连金属及其阻挡层化学机械抛光的研究进展[J]. 材料导报, 2024, 38(16): 232-239.
- Li W H Y, Gao B H, Huo J X, et al. Research progress in chemical-mechanical polishing of IC interconnect metals and their barrier layers[J]. Materials Reports, 2024, 38(16): 232-239.
- [22] 李秋雨. 聚丙烯酸对铜化学机械抛光性能的影响研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2023.
- Li Q Y. Effect of Polyacrylic Acid on Chemical Mechanical Polishing Properties of Copper [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2023.
- [23] Li Y, Zhao J Z, Wu P, et al. Interaction between abrasive particles and films during chemical-mechanical polishing of copper and tantalum[J]. Thin Solid Films, 2006, 497(1-2): 321-328.
- [24] Cao D X, Sun L M, Wang G L, et al. Kinetics of hydrogen peroxide electroreduction on Pd nanoparticles in acidic medium[J]. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2008, 621(1): 31-37.
- [25] Shi X, Rock S E, Turk M C, et al. Minimizing the effects of galvanic corrosion during chemical mechanical planarization of aluminum in moderately acidic slurry solutions[J]. Materials Chemistry and Physics, 2012, 136(2-3): 1027-1037.
- [26] Turk M C, Simpson D E, Roy D. Examination of salicylaldehyde as a surface modifier of manganese for

application in chemical mechanical planarization [J]. ECS Journal of Solid State Science and Technology, 2013, 2(11): 498-505.

[27] Sulyma C M, Roy D. Electrochemical characterization of surface complexes formed on Cu and Ta in succinic acid based solutions used for chemical mechanical planarization [J]. Applied Surface Science, 2010, 256(8): 2583-2595.

[28] Hong Y, Devarapalli V K, Roy D, et al. Synergistic roles of dodecyl sulfate and benzotriazole in enhancing the efficiency of CMP of copper [J]. Journal of the Electrochemical Society, 2007, 154(6): H444.

[29] Milazzo G, Caroli S, Braun R D. Tables of standard electrode potentials [J]. Journal of the Electrochemical Society, 1978, 125(6): 261C.

[30] Zheng J P, Klug B K, Roy D. Electrochemical investigation of surface reactions for chemical mechanical planarization of tantalum in oxalic acid solutions [J]. Journal of the Electrochemical Society, 2008, 155(5): H341.

[31] Kerrec O, Devilliers D, Groult H, et al. Dielectric properties of anodic oxide films on tantalum [J]. Electrochimica Acta, 1995, 40(6): 719-724.

[32] Chan H Y H, Weaver M J. A vibrational structural analysis of benzotriazole adsorption and phase film formation on copper using surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. Langmuir, 1999, 15(9): 3348-3355.

Recent Advances in the Investigation of Chemical Mechanical Polishing (CMP)
Material Removal Mechanisms in Integrated Circuit Fabrication

FAN Na, ZHANG Zhong-yi, HU Qun, CHEN Chuan-dong, ZHAO Si-yuan, YUE Shuai-jun, LIU Yang,
CUI Yan-ying, LI Xiao-pei*

(Baotou Research Institute of Rare Earths, Baotou 014030, China)

Abstract: This article systematically summarizes the research progress on chemical mechanical polishing of shallow trench isolation (STI), inter level dielectric (ILD) and metal layers in the process of integrated circuit fabrication. In the shallow trench isolation (STI) CMP processes, the materials removal rate is relative to the Ce^{3+} concentrations on the surface of cerium oxide, the higher Ce^{3+} concentration leads to the higher polishing efficiencies. In the chemical mechanical polishing of dielectric materials, Cook's elastic contact theory offers a well-substantiated explanation for the material removal mechanism. During the chemical mechanical polishing process of metal thin films, the material removal mechanism involves the oxidation of the metal surface to form the corresponding oxide, followed by mechanical abrasion to remove the material.

Key words: integrated circuit (IC); chemical mechanical polishing (CMP); ceria slurry; materials removal mechanism; research progress