

雾化施液 CMP 工艺及实验设备

朱 欠, 李庆忠*, 王 陈, 刘晓鹏, 钱善华
(江南大学 机械工程学院 江苏 无锡 214122)

摘 要: 针对传统化学机械抛光的平坦化制程中抛光液使用量大和环保等问题,提出了一种利用超声波雾化抛光液进行抛光的工艺方法。介绍了试验台架搭建、工艺处理方法、工作原理和抛光工艺,并与传统化学机械抛光效果进行了比较。研究表明,在表面质量上,雾化工艺能够达到传统化学机械抛光的量级,其使用量是传统化学机械抛光的 1/10。

关键词: 化学机械抛光; 雾化施液; 去除率; 表面粗糙度

中图分类号: TN 305.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671 - 7147(2013)06 - 0698 - 05

Study on the Process and Experimental Equipment of Atomizing Slurry Applied Chemical Mechanical Polishing

ZHU Bing, LI Qing-zhong*, WANG Chen, LIU Xiao-peng, QIAN Shan-hua
(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: For the slurry usage and environmental problems of the traditional chemical mechanical polishing(CMP) planarization polishing, we put forward a processing method of polishing slurry by ultrasonic atomization. It introduces the test platform built method, principle and polishing process, and compares with the traditional chemical mechanical polishing effect. This indicates that on the surface quality, the atomization process can achieve the level of the traditional chemical mechanical polishing with the traditional CMP 1/10.

Key words: chemical mechanical polishing; atomizing slurry applied; removal rate; surface roughness

化学机械抛光(CMP)是化学反应、机械摩擦、流体动压综合作用的过程,通过纳米级粒子的研磨作用与抛光液的化学腐蚀作用的有机结合,使被抛光的工件表面光滑。目前,CMP技术被认为是最好的材料全局平坦化方法,它不仅在ULSI芯片多层布线中是不可替代的平坦化方法,也是硅片加工最终获得纳米级超光滑无损伤表面的最有效方法之一^[1],广泛应用于硬脆材料及IC制程的表面平坦化处理^[2-3]。CMP设备作为IC制造的关键设备之一,也随着CMP技术的发展不断地进行着技术革新。目前CMP设备已发展成集抛光机主体、抛光垫修整、

在线检测、终点检测、清洗、甩干等技术于一体的复杂的加工系统,实现了高度的智能化。但是对于传统CMP制造工艺来说,作为消耗原料的抛光液占CMP总成本的40%左右^[4],但抛光液的利用率仅达到20%。所以抛光液的过量使用不但造成IC成本居高不下,而且还造成大量废液的排放造成环境污染^[5-6],不利于IC产业向绿色环保友好型的方向发展。针对传统CMP存在的问题,通过对供液系统的改进,结合超声波雾化技术,课题组提出了一种雾化施液化学机械抛光方法。

雾化施液化学机械抛光方法,是将特种抛光液

收稿日期:2013-03-29; 修订日期:2013-05-06。

基金项目:国家自然科学基金项目(51175228)。

作者简介:朱 欠(1989—),男,江苏扬州人,机械制造及其自动化专业硕士研究生。

* 通信作者:李庆忠(1965—),男,吉林长春人,教授,硕士生导师。主要从事摩擦学、精密及超精密加工技术等研究。Email: qingzhongli@163.com

通过超声波发生器雾化成均匀的微米级雾液,以特殊方式将其导入抛光垫表面参与抛光的区域,使液粒均匀地强吸附在抛光垫上,并与硅片表面发生强化化学反应,通过抛光液中磨粒的机械磨削作用将反应物去除,形成超光滑无损伤表面。文中将介绍该实验系统的组成、工作原理和抛光工艺,并与传统化学机械抛光效果进行比较。

1 雾化施液 CMP 实验系统

整个雾化施液 CMP 实验系统是以 UNIPOL-

1502 精密研磨抛光机为核心,围绕抛光机的一些附属设备构成,包括去离子水系统(和泰 D-W 系列纯水系统和密理博超纯去离子水机)、超声波雾化器(YC-E310B 型)、空气压缩机(日豹直联式)、250 型自动控温加热平台等。雾化施液 CMP 实验系统的示意图 1^[7]。其工作原理为:空压机抽气使密封玻璃罩内压强降低,经超声波雾化器雾化的抛光雾液进入密封玻璃罩内,经过特殊的输送装置输送到抛光界面上参与抛光,通过调节使得密封环境内的进雾和出雾的速度达到平衡,稳定的气流有助于提高抛光表面质量。

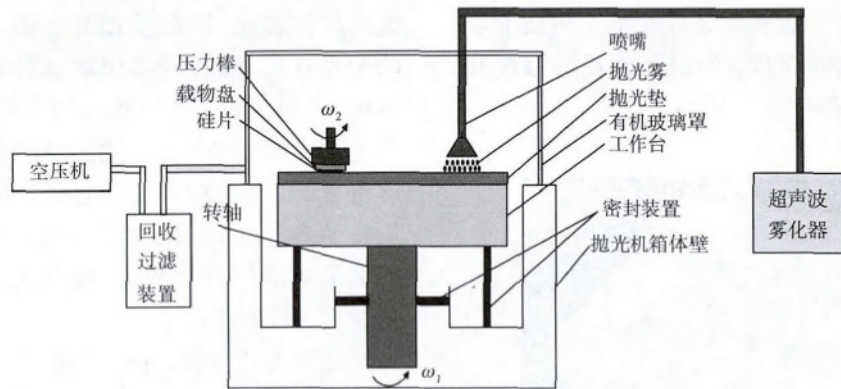


图 1 雾化施液 CMP 的工作原理示意

Fig. 1 Principle diagram of the atomizing slurry applied CMP

抛光机密封和抛光雾液导入是雾化施液 CMP 系统的核心问题。抛光时,被雾化的抛光雾液扩散性、吸附性极强,为了防止强酸碱的抛光雾液进入抛光机内部腐蚀元器件或扩散到空气中造成污染,还须保证工作台周围处于负压状态,故急需对抛光机和抛光界面进行密封(见图 1)。在箱体内壁与转轴之间和抛光盘与箱体内壁的上端之间进行密封,并在工作台周围安装有机玻璃罩来达到密封效果。试验中,若抛光雾液直接导入密封罩内,则抛光雾液以扩散的方式充满密封罩,吸附在抛光界面上的抛光雾液极少,没有明显抛光效果。因此,采用负压的方式使抛光雾液从喷嘴处快速进入密封罩,强吸附在抛光界面上,提高抛光液的利用率。

本系统是用空气压缩机抽气,在抽取的气体中必然会包含有部分抛光雾液,故在空气压缩机前面要有过滤装置,防止抛光雾液进入空气压缩机腐蚀设备。在雾化施液 CMP 系统中,抛光液通过超声波发生器被雾化成微米级液粒,这也是雾化施液 CMP 与传统 CMP 最本质的区别。超声波雾化液体的原理是以超声波的定向压强将水喷起,通过雾化片的谐振作用,将液体水分子的结构打散而出现雾气,其雾化过程如图 2 所示。

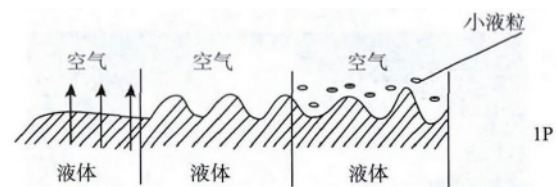


图 2 超声波雾化液体的过程

Fig. 2 Ultrasonic atomization process

2 雾化施液 CMP 试验

2.1 材料去除率和表面粗糙度结果评价

近年来,在该系统开展了一系列的试验研究^[7-11],以材料去除率和表面粗糙度为初步的评价指标。试验前后分别用精密电子天平(XS205DU 型梅特勒-托利多,精度为 0.01 mg)对样件进行称重,用于计算材料的去除率(MRR);使用扫描探针显微镜(CSPM5000 型,分辨率为横向 0.2 nm,垂直 0.1 nm)观察样件的微观表面形貌,并检测其表面粗糙度,分别以图像和数字形式显示。

图 3 是传统 CMP 和雾化施液 CMP 在相同的抛光工艺参数下抛光后的单晶硅片表面形貌比较。试验条件:环境温度 25 °C,抛光时间 5 min,用去离子

水抛光 1 min; 抛光压力 34.475 kPa(5 psi) 摆臂速度 9 次 /min, 去离子水流量 100 mL/min, 抛光转速 40 r/min; 硅晶片尺寸 20 mm × 20 mm × 0.6 mm; 抛光液采用 SSP-L 型悬浮抛光液(磨粒大小 50 nm, 质量浓度 15%) 雾化施液 CMP 的抛光雾流量不超过 10 mL/min, 与其对比的传统 CMP 抛光液流量为 100 mL/min。如图 3 所示传统 CMP 后单晶硅片的表面粗糙度为 5 nm, 雾化施液 CMP 后单晶硅片的表面粗糙度为 9 nm。雾化施液 CMP 可以达到传统 CMP 表面粗糙度的数量级, 但抛光液的用量仅约为传统 CMP 的 1/10, 这是由于超声振动作用使抛光液的磨粒分散, 避免团聚造成表面划伤, 提高了表面粗糙度; 同时高比表面积的微米级液粒在抛光表面能够快速吸附并进行高活性的化学反应, 使反应强度和速度远远大于传统 CMP。

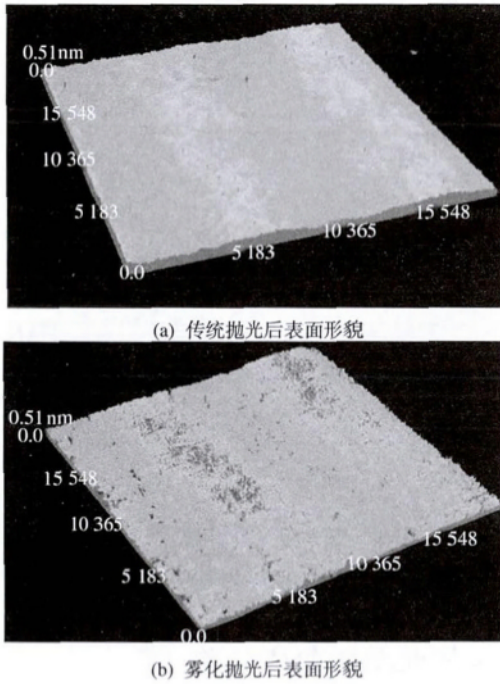


图3 相同条件下传统抛光和雾化抛光比较

Fig.3 Under the same conditions of traditional polishing and polishing of atomization

2.2 雾化施液 CMP 系统工艺参数

基于对传统 CMP 的研究, 认为本系统中压力、喷嘴角度、喷嘴高度、喷嘴半径这 4 个参数对抛光结果影响较大。其中喷嘴角度由玻璃罩上的角度盘确定 0° 方向是垂直于玻璃罩的宽边并指向控制面板; 喷嘴高度由导管上的刻度确定; 喷嘴半径由支架的水平杆上的刻度确定。通过对上述工艺参数进行单因素试验, 发现随着压力的增大, 材料去除率也逐渐增大 如图 4 所示。

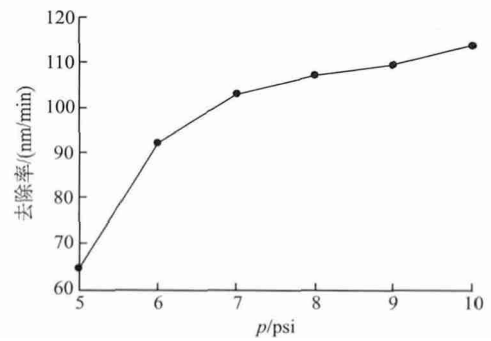


图4 材料去除率随压力的变化曲线

Fig.4 Material removal rate curve with pressure

当压力增加到一定程度, 材料去除率的变化趋势有所减缓。但是压力过大会导致产生碎片和磨屑划伤试件表面, 同时使抛光界面产生局部高温, 影响抛光效果; 随着喷嘴距离试件越近时, 材料去除率越大, 如图 5 ~ 7 所示。分析认为喷嘴角度、喷嘴高度和喷嘴半径 3 个参数影响的是参与反应的抛光雾液量。当喷嘴距离工件越远, 由于气流以及主轴旋转的离心作用, 抛光雾液进入抛光界面越困难, 降低了雾液的有效利用, 使其化学作用减弱, 从而使材料去除率下降。

结合上述分析, 并通过正交试验得出优化参数组合: 压力 68.95 kPa(10 psi) 喷嘴高度 5 mm 喷嘴半径 30 mm 喷嘴角度 -30° 此时材料的去除率达到了最大值 113.734 nm/min。在 4 个因素中, 喷嘴半径对材料去除率的影响最显著, 其次为喷嘴高度。

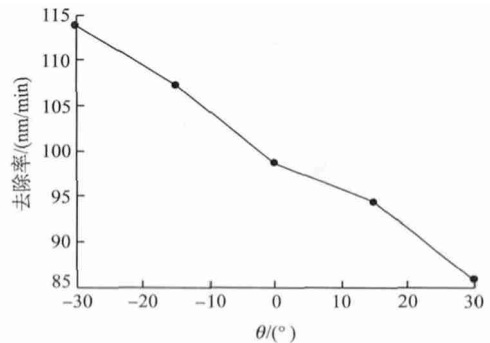


图5 材料去除率随喷嘴角度的变化

Fig.5 Material removal rate curve with nozzle angle

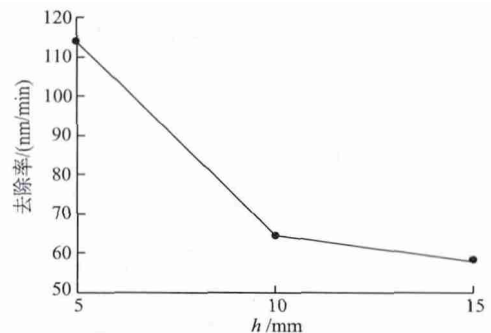


图6 材料去除率随喷嘴高度的变化

Fig.6 Material removal rate curve with nozzle height

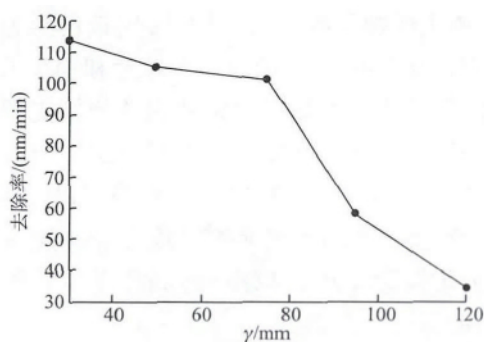


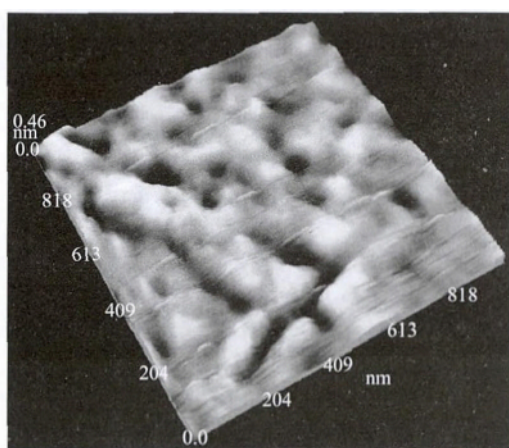
图 7 材料去除率随喷嘴半径的变化

ig.7 Material removal rate curve with nozzle radius

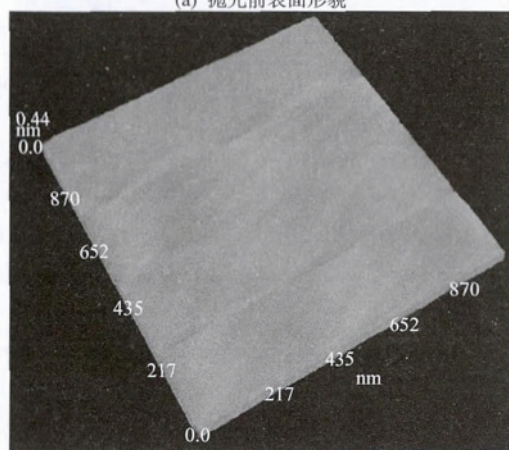
2.3 雾化施液 CMP 系统专用抛光液

在雾化施液 CMP 系统上研制出适合本研究技

术的抛光液,并对不同抛光液进行比较。翟靖等^[10]通过对抛光液组份选择、组份优化、配置顺序优化等,研制出了适用于雾化施液 CMP 单晶硅的 SiO₂ 抛光液,其雾化抛光效果和 SSP-L 型悬浮抛光液常规抛光效果接近。张慧等^[11]通过该试验系统对铜片进行抛光,并研制了适用于铜片的碱性 SiO₂ 抛光液。在抛光工艺相同的情况下,与 SSP-L 型悬浮抛光液进行比较试验。图 8 和图 9 表明,研制的抛光液与 SSP-L 型抛光液抛光结果存在一些异同点,两者的去除速率和抛光后的表面粗糙度相差不大,研制的抛光液使铜的表面更平滑,并且雾化抛光液的使用量仅约为传统抛光液的 1/10,如表 1 所示。

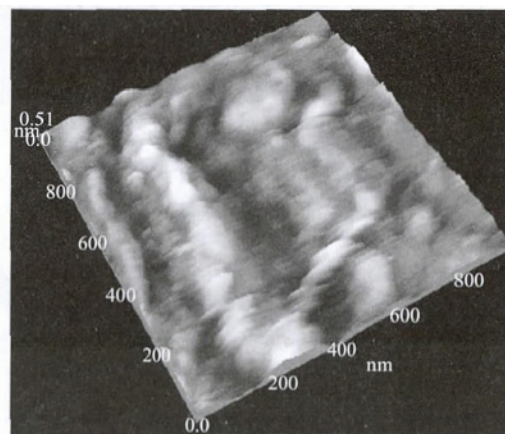


(a) 抛光前表面形貌

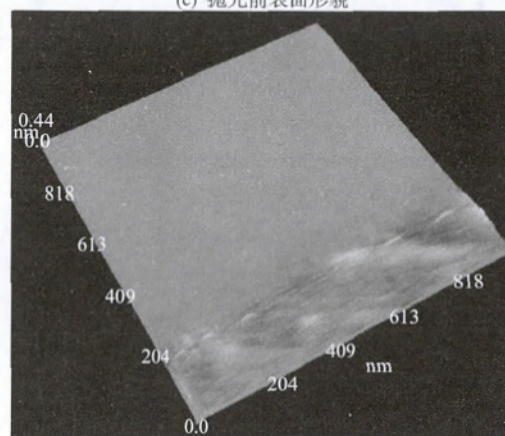


(b) 抛光后表面形貌

图 8 自制抛光液雾化施液 CMP 前后铜片表面形貌
Fig.8 Surface morphology before and after the atomization CMP with the self-made slurry



(c) 抛光前表面形貌



(d) 抛光后表面形貌

图 9 SSP-L 型抛光液传统 CMP 前后铜片表面形貌
Fig.9 Surface morphology before and after the traditional CMP with the SSP-L slurry

表 1 在不同抛光液中抛光后的材料特征因素比较

Tab.1 Contrast of materials' features factors after polishing with different slurries

抛光方法	抛光液	材料去除率 / (nm/min)	抛光前表面粗糙度 /nm	抛光后表面粗糙度 /nm	抛光液流量 / (mL/min)
雾化施液 CMP	特种铜抛光液	107.4	8.46	5.44	< 10
传统 CMP	SSP-L 抛光液	130.0	9.51	5.44	100

注: 工艺条件: 抛光压力 41.37 kPa(6 psi) 抛光盘转速 60 r/min 时间 5 min 抛光材料为铜片。

2.4 雾化施液 CMP 系统施液方式

试验发现,现有的雾化施液 CMP 试验设备还存在一些问题。与传统 CMP 设备相比,雾化施液 CMP 试验设备的突破改进了其施液方式,使得在抛光液的使用上有了明显提高。但是现有的雾液输送方式采用倒立的漏斗状喷嘴装置以一定的距离悬于抛光垫上方,可承载空间较小。由于雾液流速快,缓冲空间小,停留时间短,大部分雾液尚未接触抛光垫便被后续雾液“挤出”,造成浪费;其次,出气孔不能保证抛光界面各处的负压平衡,从而导致气流不均匀,影响抛光质量。

针对上述问题,提出一种新型的施液加压一体装置,如图 10 所示。将原来固定并加压工件、输送雾化抛光液、出气形成负压等功能实现于同一装置上,解决大部分雾液尚未反应便被抽离密封装置的问题,保证了气流的均匀性,增加了雾化抛光液雾滴被抛光工件表面吸附的机会,提高了其对抛光垫表面的附着率(该装置仍在研制和改进之中)。

3 结语

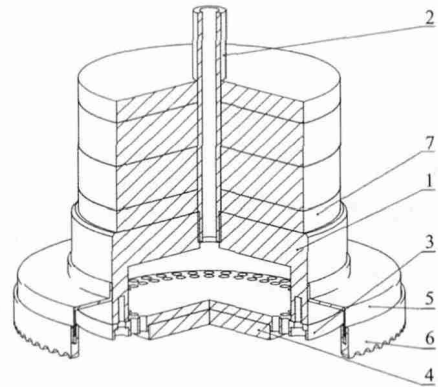
雾化施液 CMP 试验系统能够实现抛光液的精细雾化,并通过负压将雾化抛光液导入抛光界面。试验结果表明,雾化施液 CMP 可以达到传统 CMP

参考文献(References):

- [1] 苏建修,康仁科,郭东明,等.集成电路制造中的固结磨料化学机械抛光技术研究[J].润滑与密封,2005(3):1-4. 8.
SU Jian-xiu, KANG Ren-ke, GUO Dong-ming, et al. Study on fixed-abrasive chemical-mechanical polishing technology of wafer in integrate circuit manufacturing[J]. Lubrication Engineering, 2005(3): 1-4. 8. (in Chinese)
- [2] Kim H. Pad surface characterization and its effect on the tribological state in chemical mechanical polishing[J]. Key Engineering Materials, 2004, 257: 383-388.
- [3] 苏建修,郭东明,康仁科,等. ULSI 制造中硅片化学机械抛光的运动机理[J]. 半导体学报, 2005, 26(3): 606-611.
SU Jian-xiu, GUO Dong-ming, KANG Ren-ke, et al. Kinematic mechanism of chemical mechanical polishing in ULSI manufacturing[J]. Chinese Journal of Semiconductors, 2005, 26(3): 606-611. (in Chinese)
- [4] Testa F, Coetsiera C, Carretiera E, et al. Retreatment of silicon slurry by membrane processes[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 192(2): 440-450.
- [5] WANG Y G, ZHANG L C, Biddut A. Chemical effect on the materials removal rate in the CMP of silicon wafers[J]. Wear, 2011, 270(3/4): 312-316.
- [6] WANG C T, CHOU W L, CHEN L S, et al. Silica particles settling characteristics and removal performances of oxide chemical mechanical polishing wastewater treated by electrocoagulation technology[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 161: 344-350.
- [7] 翟靖. SiO₂ 抛光液实验研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [8] 刘晓鹏. 雾化施液抛光系统设计及雾化参数的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- [9] LIU X P, CHEN X C, LI Q Z. Principle and experiment of ultrasonic subtle atomization in CMP[J]. Advanced Materials Research, 2011, 279: 287-290.
- [10] 翟靖, 李庆忠. 一种使用超声波雾化施液抛光的 SiO₂ 抛光液[J]. 半导体技术, 2012, 37(4): 263-266, 311.
ZHAI Jin, LI Qing-zhong. SiO₂ slurry delivered by ultrasonic fine atomized form[J]. Advanced Semiconductors Manufacturing Technologies, 2012, 37(4): 263-266, 311. (in Chinese)
- [11] 张慧. IC 制程 Cu 抛光液实验研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.

(责任编辑: 杨 勇)

表面粗糙度的数量级,但其抛光液用量仅约为传统抛光的 1/10。同时通过配制用于硅片和铜片的专用抛光液,与市购 SSP-L 型抛光液在常规抛光条件下进行抛光效果比较,发现专用抛光液适用于雾化施液 CMP,并且微量的专用抛光液能够得到较高的材料去除率和较好的表面形貌,提高了抛光液利用率,极大地降低了抛光成本,为晶片平坦化提供了一种新的可行性方法。



1.内罩; 2.进气轴; 3.挡圈; 4.贴片盘; 5.密封盖; 6.外罩; 7.压力块。

图 10 施液加压一体装置示意

Fig. 10 Schematic diagram of an equipment combines slurry applied and pressure