

本报记者 诸玲珍

集成电路的飞速发展,离不开材料和系统集成技术的支撑。高纯金属溅射靶材作为芯片制造、封装中物理气相沉积(PVD)工艺所需关键材料,应用于各种功能薄膜的制备。它的发展壮大不仅能极大地带动上游我国传统有色金属材料产业结构升级,更能促进下游电子制造产业的技术进步和稳定快速发展。

部分高端靶材实现产业化 原材料制备难题待破

——集成电路材料系列报道之四

国内高纯溅射靶材企业崭露头角

在半导体衬底(基片)上生长各种具有重要功能的薄膜是集成电路芯片生产制造中最核心的工艺之一。基于物理气相沉积(PVD)的溅射工艺具有薄膜纯度高、成膜质量好、沉积速度快、工艺稳定可靠等优点,广泛应用于集成电路生产制造中,具有不可替代性。溅射沉积薄膜的原材料就是靶材,靶材的化学纯度、组织性能等直接决定了芯片中接触层、介质层、互连层等薄膜的性能,从而影响电子产品的性能和寿命。芯片对溅射靶材的要求非常高,它要求靶材纯度要达到5N(99.999%)以上。

超高纯金属材料及溅射靶材是芯片制造所必需的关键原材料,具有金属镀膜的均匀性、可控性等诸多优势。溅射靶材以

超高纯金属(铝、钛、铜、钽、钽、钨等)为原料,经过压力加工、热处理、机械加工、清洗包装等一系列复杂精密工艺加工制造完成的。利用物理气相沉积技术,用高压加速气态离子轰击,使靶材的原子被溅射出,以薄膜的形式沉积到硅片上,最终形成半导体芯片中复杂的配线结构。靶材在半导体材料中的占比约为3%。

超高纯溅射靶材是伴随着半导体工业的发展而兴起的,属于典型的技术密集型产业,产品技术含量高,研发生产设备专业性强。目前,全球范围内美国的 Honeywell、Praxair 和日本的 JX 集团、Tosoh 四家资金实力雄厚、技术水平领先、产业经验丰富的跨国公司居全球超高纯溅射靶材行业

近年来,国内靶材行业涌现出了江丰电子、有研亿金等企业,实现了超高纯铝、钛、钽、铜等全系列高端靶材的产业化。

的领导地位。近年来,在国家一系列政策及资金的支持下,国内靶材行业涌现出了江丰电子、有研亿金等企业,实现了超高纯铝、钛、钽、铜等全系列高端靶材的产业化,打破了国外公司对我国高端靶材的垄断。江丰电子材料股份有限公司董事长姚力军博士告诉《中国电子报》记者,靶材是集成电路材料领域最先打破国外垄断的产品。目前,江丰电子攻克了芯片制造用超高纯金属材料的提纯及溅射靶材制备的核心技术,开发出用于芯片制造的超高纯金属溅射靶材的全套生产工艺,公司产品70%以上销往以台积电等为代表的280多家海外芯片制造工厂,并在国际领先的7nm技术得到量产应用。

面对激烈的国际竞争,溅射靶材产业专业人才的匮乏成为制约国内靶材产业发展的痛点。

的人才,无论是在数量上还是水平上都略显不足。”姚力军说。他同时指出,随着全球制造中心向中国转移,国外靶材供应商考虑到价格和交货期的因素,希望实现本土化供应,于是,纷纷在中国建立加工厂,这无疑使得国内靶材业面临的竞争更加激烈。“此外,我国超高纯溅射靶材原材料制备尚需实现重大突破,原材料品质一致性、关键技术等问题也亟待解决。”姚力军告诉记者。

宁夏东方铝业股份有限公司金属制品分厂厂长杜领会以钽靶材为例剖析了行业普遍存在的问题,他说,国外同行形成的技术及产业链壁垒,给钽靶材本土化造成技术障碍与陷阱,无法形成反馈机制。同时,国外同行的钽靶材产品技术成熟稳定,具有成本优势,而钽靶材在国内处于初始阶段,生产成本低,不具备进入市场的成本优势。

基础研究和应用研究方面,需在产品、工艺、应用上突破技术瓶颈,可以采用自主研发和国外引进相结合的方法。

所需的高端靶材以及特种材料靶材主要依赖进口,这和国内集成电路技术整个产业链水平息息相关。”何金江表示,“这需要材料企业与半导体制造企业密切配合,以及和PVD溅射镀膜设备商联合研发,实现技术快速跟进和创新研发。”杜领会也表达了同样的意思,他告诉《中国电子报》记者,发展国内靶材产业应加强顶层设计,在产业链层面建立半导体靶材国产化上下游联合体。以钽靶材为例,可建立钽靶坯制造商、钽靶材制造商、芯片制造商产业链上下游联合体,打通产业链中间壁垒环节,形成市场合力。

江丰电子材料股份有限公司董事长姚力军:

要更加注重电子材料产业的发展

集成电路微细化制程技术日新月异,产业技术持续遵循摩尔定律快速更新,配线特征尺寸不断减小,使得芯片具有更高运转速度、更强性能、更低功耗。

在市场需求拉动和国家相关政策的支持下,中国集成电路行业保持着平稳快速、稳中有进的发展态势。我国是全球半导体材料第二大市场,但国产材料占全球份额却极低,市场几乎被美日等发达国家占据。我国芯片产业落后于发达国家的主要原因是缺乏芯片制造的装备和材料等方面的核心技术,溅射靶材是制约芯片产业发展的关键材料之一。

可喜的是,国内集成电路技术近几年不断取得突破,产品质量不断提升。以江丰电子为代表的靶材企业,使国产半导体靶材进入高端应用领域并让用户批量使用,挤占了国际厂商的市场空间,并出口到韩国、日本及我国台湾。

江丰电子攻克了芯片制造用超高纯金属材料的提纯及溅射靶材制备的核心技术,开发出用于芯片制造的超高纯金属溅射靶材的全套生产工艺,建立了拥有自主知识产权的研发、生产、品质管理等体系,设计并建设了完全基于国产装备的世界一流的溅射靶材生产基地,实现了超高纯铝、钛、钽、铜等全系列高端靶材的产业化,打破了美日对我国的垄断。目前,江丰电子芯片用溅射靶材在中国市场份额处于领先地位,居全球市

场第二,把一个完全依赖从国外进口的短板产业,做成了可以大规模出口并参与国际竞争的优势产业。

尽管如此,为迎接溅射靶材巨大的产业化机遇,缩小国内外溅射靶材的差距,国内企业需在产品、工艺、应用上突破技术瓶颈。作为新兴的、蓬勃发展的靶材产业,必然会遇到各种各样的技术难题。攻克靶材产业发展过程中遇到的技术难题,可以采用自主研发和国外引进相结合的方法。由于靶材产业技术更新换代较快,国外核心技术设置壁垒,引进难度很大;另外,国内外设备、技术、人员情况存在或多或少的差异,引进的技术也不能完全照搬,必须经过消化、吸收才能转化成适用的技术。这就需要有一个平台,凝聚一批专家,通过坚持不懈的研究努力,创造出切实可行、经济适用的材料解决方案。

研制靶材既要重视应用研究,也要重视基础研究。基础研究取得成果所需周期较长,且不能直接带来经济效益,难以满足企业要求见效快、追逐利润的目标。但如果缺乏基础研究,应用研究的发展就会遇到一定的研发瓶颈,从而限制应用研究的发展。这就需要国家及地方给予扶持,搭建专业化研发平台,集中优势资源,保障研发资源专用,产学研开放合作,积极推进科技成果转化产业化,使基础研究及应用研究取得双丰收。

有研新材料股份有限公司战略投资部部长何金江:

在前沿材料研发方面还需要进一步努力

作为集成电路镀膜用关键配套材料之一,高纯溅射靶材消耗量不断增加,其市场规模不断扩大,目前已蓬勃发展成为一个专业化产业。在相当长的一段时期,我国从高纯原材料到靶材制备技术均落后于国外,高纯金属靶材的生产企业主要集中在美日德等国家。这些发达国家的靶材生产企业从金属材料的高纯化制备到靶材制造生产线具备了完备的技术垂直整合能力,控制着全球高端电子制造用靶材的主要市场。

随着国内靶材企业的技术实力持续提升、市场开拓不断加强,全球集成电路靶材市场以国外靶材公司为主的格局正在改变,中国靶材企业将扮演越来越重要的角色。有研新材料股份有限公司的全资控股子公司有研亿金新材料有限公司是靶材领域领军企业。公司是国内综合实力、材料种类、技术实力均领先的高端电子信息用高纯金属材料研发制造基地,也是全球第三家、中国唯一一家具备从高纯/超高纯原材料到溅射靶材垂直一体化研发、生产能力的产业化平台。

我国对于半导体产业高度重视,各项鼓励半导体行业发展的政策密集出台。特别是自2014年以来,在国家大基金的指引下,该领域的投资持续加速,中国半导体业的崛起不可逆转。国家对半导体发展政策和资金并举,也为配套企业的发展提供了巨大商机。在这样的大环境下,靶材作为重要的半导体薄膜制备材料,将会获得巨大的成长机

会。国内半导体用高纯溅射靶材市场未来几年将持续保持两位数增长。据统计,我国在不断投资新建300mm晶圆厂,预计2020年总产能预计将达到百万片/月以上,对高端大尺寸靶材的需求将会有数倍的增长。同时,随着新技术、新器件的开发应用不断加速,对材料提出更高要求,高附加值新材料靶材产品的需求也将与日俱增。

对于国内靶材企业,要求能够实现超高纯金属原材料的自主供应,不能完全依赖国外进口。高纯金属原材料是靶材生产制造的基础,集成电路所用有色金属材料包括Al、Cu、Ti、Ta、Ni、Co、W、Au、Ag、Pt、Ru以及稀土金属等,对这些金属材料的纯度要求越来越高,能够以薄膜形态充分发挥材料的本征特性。材料的杂质元素、缺陷的稳定控制以及稳定批量化生产是关键。有研亿金已经能够掌握多种超高纯金属提纯技术并实现量产,在电子级超高纯材料的产业化方面做出了突出贡献,开发的高性能靶材产品在台积电、中芯国际、长电科技等先进半导体企业中实现批量应用。

未来,随着5G、物联网等新领域的开拓,新型器件及制造技术的开发越来越离不开具有优异特殊性能的新型材料,国内企业在前沿材料研发方面还需要进一步努力,有研亿金将积极与国内外先进的设备制造商和集成电路制造企业合作,进行高端产品的研发,全面满足集成电路产业的需求,成为国际上具有重要影响力的靶材研发与制造企业。

宁夏东方铝业股份有限公司金属制品分厂厂长杜领会:

应形成半导体靶材产业链各关键端的反馈机制

物理气相沉积(PVD)是半导体芯片生产过程中最关键的工艺之一,溅射靶材就是用于上述工艺中的一个关键耗材。

一方面,应半导体芯片制造商对降低成本的要求,晶圆直径已由原来的2英寸增加到目前的12英寸,这使一个晶圆上一次生产的芯片数量大幅增加,进而大幅降低成本;另一方面,伴随技术进步,在130nm、90nm制程中,各厂家主要使用8英寸晶圆,对应8英寸靶材,在65nm、45nm及目前最先进的7nm线宽工艺,集成度大幅提高,各厂家主要使用12英寸晶圆,对应12英寸靶材。这一变化,虽然降低了半导体芯片制造商的成本,但对溅射靶材而言,要求其尺寸增大,其溅射薄膜面积增大,对靶材性能要求也大幅提高。

特别是,当芯片线宽由原来的180~130nm减小到45~28nm时,半导体用溅射靶材由原来的Al/Ti系列向Cu/Ta系列发展,这是半导体芯片镀膜技术发展的必由之路。钽材料作为制备防止Cu原子向Si扩散的阻挡层薄膜材料被引入半导体行业,使得半导体钽靶材成为以CPU为代表的集成电路制造过程中一种关键的溅射靶材。

目前,芯片制造大厂如英特尔、台积电、意法半导体等国际大厂陆续在中国大陆建

立工厂。但是,以12英寸为代表的、制备芯片非常关键的半导体用Al、Ti、Cu、Ta、W等金属靶材,国内主要依赖进口,这使我国芯片安全存在重大隐患。目前,我国还没有一个国家或全行业层面的联盟或协会,组织联合国内半导体产业链上的上、下游企业,实施顶层设计,推动我国半导体靶材本土化。

在产业链上,钽靶材的市场一般分为三段,钽靶坯制造商(负责钽靶坯制备,包括组织性能控制),钽靶材制造商(负责成品钽靶材制备,包括焊接、成品加工及清洗),芯片制造商(负责钽靶材溅射镀膜)。目前,世界范围内12英寸钽靶材制造商主要有日本Tosoh、美国Honeywell、日本Nikko、德国H.C.Starck四家,他们均通过专利进行技术保护,或进行技术保密。国内中色东方作为钽靶坯制造商,12英寸钽靶坯研发取得长足进步,但无机会和平台进入市场;宁波江丰电子作为靶材制造商,拥有钽靶材制造能力,并已进入中芯国际等IC制造企业。

希望国内靶材行业能凝心聚力,建立半导体靶材产业链各关键端的反馈机制,形成技术合力,攻克技术壁垒;对包括钽靶材在内的半导体靶材的本土化,在初始阶段请求国家给予政策支持资金支持,帮助企业突破成本壁垒,进入市场,进而再做大做强。

我国靶材行业急需突破人才和技术瓶颈

集成电路制造工艺的不断前行,使得无论在微观品质,还是宏观规格上,对靶材的质量都提出了越来越高的要求。有研新材料有限公司战略投资部部长何金江在接受《中国电子报》记者采访时表示,集成电路制造工艺的微细化、溅射用薄膜材料的多元化,要求靶材除了纯度高、成分均匀等之外,还主要体现在靶材的致密度、晶粒尺寸、织构、电导率和结合强度等方面的严格要求;同时,随着晶圆尺寸的逐渐增加,要求靶材尺寸也随之增大,在大尺寸材料的组织性能均匀性控制、高精度成型加工等方面提出挑战;此外,为了进一步提高靶材的使用性能,还需要对靶材的结构进行优化设计。这无疑对国内靶材企业提出了新的更高的挑战。

虽然近年来我国集成电路、平板显示、太阳能电池等产业的快速发展,让我国已逐渐成为世界上薄膜靶材最大的需求地区

加强顶层设计形成市场合力

一方面,我国靶材行业自身存在诸多问题,难以完全满足国内集成电路产业的需求;另一方面,中国快速发展的集成电路产业,又为国内靶材制造企业的发展提供了难得的机遇。如何平衡和应对,业内专家给出了解决方案。

姚力军对《中国电子报》记者说,我国超高纯溅射靶材产业要增强核心竞争力,需要加强基础研究和应用研究,重视人才培养,在此过程中期望得到国家政策支持。他解释说,基础研究和应用研究方面,首先需突破产品、工艺、应用上的瓶颈,可以采用自主研发和国外引进相结合的方法

之一,但不可否认的是,超高纯溅射靶材仍需从国外进口。

姚力军分析了其中的原因,他认为,由于国内超高纯溅射靶材产业起步较晚,且受到技术、资金和人才的限制,国内专业从事超高纯溅射靶材的生产企业数量偏少,企业规模和技术水平参差不齐,多数国内企业处于企业规模较小、技术水平偏低、产业布局分散的状态,市场尚处于开拓初期,主要集中在低端产品领域竞争。他指出,面对激烈的国际竞争,溅射靶材产业专业人才的匮乏成为制约国内靶材产业发展的痛点。“靶材的研制主要是在企业内实施,各靶材公司为在竞争中取得优势,技术均高度保密,所以该行业专业化很强,人才选择局限于为数不多的靶材公司内部。高校及科研院所开展溅射靶材基础研究及应用研究较少,时间也较短,研究力度也没有靶材公司大,因此培养

法,需要国家及地方给予扶持,资助企业建立靶材重点实验室。人才方面,为激发研究人员的积极性,企业内部可以在体制上加强激励机制,设立专门的资金,对做出突出贡献的科研人员予以重点奖励。政策方面,由于溅射靶材是全球性市场,要与国外靶材供应竞争,国内溅射靶材企业希望得到国家在进出口政策上的扶持。“如果国家对靶材产品给予适当退税,进一步鼓励靶材产品出口,必将加大靶材出口产品的竞争优势,推动靶材产业的发展。”姚力军说。

“目前,国内12英寸集成电路先进制程