

文章编号: 1672-8785(2019)10-0001-07

红外焦平面组件封装中的皮秒 激光划片工艺(上)

张忆南^{1,2} 莫德峰^{1,2} 洪斯敏^{1,2} 李 雪^{1,2}

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083;

2. 中国科学院红外成像材料与器件重点实验室, 上海 200083)

摘 要: 在对皮秒激光划片加工所涉及的基本原理和设备进行简单介绍的基础上, 对红外焦平面组件封装中常涉及的一些材料的特点及其与皮秒激光束的作用机理进行了梳理。通过优化激光参数设置提高了划片效率并保证了划片质量; 通过改进工夹具避免了金属层损伤且改善了操作方便性。

关键词: 激光划片; 皮秒脉冲激光器; 红外焦平面阵列; 组件封装; 材料特性

中图分类号: TB942 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2019.10.001

Picosecond Laser Dicing Process in the Packaging of Infrared Focal Plane Array Modules (I)

ZHANG Yi-nan^{1,2}, Mo De-feng^{1,2}, HONG Si-min^{1,2}, LI Xue^{1,2}

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Key Laboratory of Infrared Imaging Materials and Devices, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Based on a brief introduction to the basic principles and equipment involved in picosecond laser dicing, the characteristics of some materials often involved in the packaging of infrared focal plane array modules and their action mechanisms to the picosecond laser beams are reviewed. By optimizing the laser parameter settings, the dicing efficiency is improved and the dicing quality is guaranteed; by improving the clamping apparatus, metal layer damage is avoided and the operation convenience is improved.

Key words: laser dicing; picosecond pulse laser; infrared focal plane array; module packaging; material property

0 引言

红外焦平面芯片通过封装构成组件后方可应用于实际系统, 而封装中需要使用由多种具有不同机械、光学、电学和热学特性的材料构成的各种零部件, 由此实现所需的特定功能。

该零部件尺寸小、形状特殊、精度和光洁度等要求苛刻。特别是诸多片状和异形零部件, 所涉及的材料种类比较繁杂。若采用传统的机械切削、机械划片裂片和金刚石锯片旋转切割等方式加工这些零部件, 则会有很大困难。这将

收稿日期: 2019-09-06

作者简介: 张忆南(1987-), 女, 上海人, 工程师, 主要从事红外探测器组件封装工作。

E-mail: 666shelley@sina.com

严重影响加工质量和效率,而且受限于材料特性,一些零部件甚至无法加工。随着大功率脉冲激光技术的进步和相应光机电系统的发展,多种激光加工方法(如切割、焊接、打孔、表面处理以及打标等)都已应运而生^[1]。

对于红外焦平面组件封装中常用到的各种薄片状异形零部件,激光加工(在此常称其为激光划片,下文中也沿用此种说法)方法显得特别适合,因此获得了广泛应用。本文在对激光划片加工相关的基本原理和设备进行简单介绍的基础上,对红外焦平面组件封装中常涉及的一些材料的特点及其与激光束的作用机理进行了梳理。据此针对不同零部件的特点研究了激光划片参数的设置及优化,并对实际操作中的工夹具设计以及如何避免激光划片损伤等进行了探讨。

1 激光划片的基本原理与设备

各类半导体芯片加工中都会用到划片(包括裂片、解理、崩片)等工艺,用于将制作好的包含众多芯片的大尺寸圆形或矩形片分割成所需的独立小尺寸矩形芯片,以进行进一步封装。比如,对于硅基集成电路(包括红外焦平面所需的读出电路等)芯片,通常采用基于圆形金刚石锯片的高速旋转切割方法。其中,锯片转速可高达每分钟数万转,锯路宽度需大于 $50\ \mu\text{m}$;加工时需冲水进行冷却润滑,并且还要进行后续处理。此类加工中常会遇到震动崩边、高速金刚石锯片损耗以及玷污等问题。特别是受其原理限制,只能做直线切割而无法加工异形零部件,并且对硬度过高的材料也难以加工。与此类似,在一些光电芯片(如半导体激光器和探测器)制作中所用的解理-崩片方法基于特定取向衬底的天然解理面,先用金刚石刀刃在大片边缘的所需位置上划出缺口,然后采用解理方法进行芯片分割。但这显然也只能做直线切割而无法加工异形零部件,并且需要手工操作,效率更低。

激光加工方法是基于激光束本身的高能量密度、高光束质量(准直性)和可操控特性来实

现的。不同类型的高能激光束对不同种类物质的作用机理有所区别,在合适条件下可使其产生溶化、蒸发和升华等作用;在材料汽化过程中还会产生一定的局部高压,从而起到加工效果,因此具有很强的通用性。在红外焦平面组件封装时常用到的芯片以及各种薄片状异形零部件中,既有硬度很高的材料(如蓝宝石片),也有很软的材料(如钢垫片)以及一些脆性材料,此类材料是不适合机械加工的。此外,还有一些导电导热的金属材料、绝缘隔热的陶瓷材料以及一些有机薄膜材料等,当然也包含半导体芯片本身。对于这些种类繁多的材料(主要是薄片状材料)来说,采用皮秒激光加工方法具有很好的适应性^[2-3]。

可用于激光加工的功率激光器种类繁多^[4],包括固体、气体和半导体激光器等,在从紫外波段(如 $355\ \text{nm}$ 或 $266\ \text{nm}$ 固体激光器)到中红外波段(如 $10.6\ \mu\text{m}$ CO_2 激光器)的范围内均有应用。随着大功率半导体泵浦激光器在寿命上的突破,目前激光加工所用的功率激光器已主要集中在采用半导体二极管激光器泵浦的固体激光器(Diode-Pumped Solid-State Laser, DPSSL)上。它们也称为全固态激光器,其波长主要集中在近红外和绿光两个波段。随着半导体光电技术的发展,近红外大功率半导体激光器已经实现了很高的电光转换效率,阵列器件的功率输出也突破了百瓦和千瓦级,但由于光束质量方面的先天不足,其基模输出常为椭圆光斑,较难整形成圆光斑,所以仍较少直接应用于激光加工。而固体激光器一般具有较高的光束质量,因此人们更倾向于采用半导体激光器作为泵浦源来产生用于加工的固体激光。

固体激光物质中最常用的基质材料是钕铝石榴石(YAG)或钒酸钕(YVO_4)等,稀土掺杂材料是钕(Nd),由其构成的激光器称为掺钕YAG(Nd:YAG,常简称YAG激光器)或掺钕钒酸钕(Nd:YVO₄)激光器。YAG中,钕离子的最强跃迁波长是在近红外波段的 $1064\ \text{nm}$ 。在此波长上,Nd:YAG激光器早期采用宽谱闪

光灯泵浦,效率较低。该激光器的最佳泵浦波长约为 808 nm,光到光转换效率可大于 50%。应运而生的 808 nm 半导体激光器是成熟度最高且性能最佳的,其电光转换效率可大于 50%,大功率下的寿命问题也已突破,因此 DPSSL 已成主流。随后发展起来的 Nd:YVO₄ 激光器的最强跃迁波长也是 1064 nm,其对泵浦光的吸收强度更高,1064 nm 处的跃迁强度也更大。这很好地弥补了其荧光寿命较短的缺陷,因此仍可实现较高的斜率效率。在最佳泵浦条件下,Nd:YVO₄ 激光器的 1064 nm 输出光到光转换效率甚至可达到 60%,但其光损伤阈值稍低,限制了最大输出功率。

以上两种激光器都是这个波长上用于激光加工的优选固体激光器。对于这些效率较高、性能较好的固体激光器,还可以利用非线性光学过程并通过和频或差频的方式来获得其他激光波长。其中,二倍频就是一种最常用的方式。由于非线性光学材料也是晶体,在结构上能够与固体激光器较好结合,可将相同尺寸的激光晶体和倍频晶体直接粘合成等效的“新波长”激光晶体材料。因此,这种方法对于固体激光器来说是比较方便的。目前已有较多采用这种方式的“新波长”固体激光器产品。以 Nd:YAG 激光器为例,采用磷酸氧钛钾(KTiO-PO₄/KTP)晶体作为非线性光学材料,可将其最强的 1064 nm 近红外波长二倍频到 532nm 的绿光。由于 KTP 在此波段有很高的倍频效率,一般可达 80%,所以倍频后的 Nd:YAG 绿光激光器仍可有较高的总体光到光转换效率(一般为 20%~35%)。二倍频的 Nd:YVO₄ 绿光激光器光到光转换效率最高可达到 48%。鉴于此,1064 nm 和 532 nm 是激光加工主要采用的波长。355 nm 或 266 nm 的紫外激光可由 1064 nm 的三倍频或四倍频得到,其总体效率要低一些。

随着固体激光材料体系的发展和大功率半导体激光器技术的进步,在 YAG 中进行镱(Yb)掺杂的 1030 nm Yb:YAG 激光器脱颖而

出。由于具有高掺杂浓度、宽泵浦带宽和长荧光寿命,该激光器的光到光转换效率比 1064 nm Nd:YAG 激光器更高。由于此种激光器的最佳泵浦波长在 940 nm,其泵浦波长与激光波长更接近,两者的能量差仅为 930 cm⁻¹,远小于 Nd:YAG 激光器的 2978 cm⁻¹。也就是说,在同样的输出功率下,与 1064 nm Nd:YAG 激光器相比,1030 nm Yb:YAG 激光器的发热量明显降低,这对改善激光器性能是十分有利的。同样,1030 nm Yb:YAG 也可二倍频至 515 nm 的绿光波长或者三倍频至 343 nm 的紫外波长。1030 nm 和 515 nm 已成为当前激光加工的主流波长。

激光加工中一般采用基于 Q 开关的短脉冲激光器,其脉冲宽度可在 ns、ps 乃至 fs 量级,重复频率常在百 kHz 量级。另外也有采用 μs、ms 级乃至连续波(Continuous-Wave, CW)激光进行加工的。脉冲宽度在 ps 和 fs 量级的激光也常称为超快或超短脉冲激光。采用短脉冲形式工作,一方面有利于实现将更高的峰值功率作用于物质;另一方面,在脉冲间隔期间,激光作用区可以充分散热以降低工件中的热量积累,避免样品产生较大温升,特别是在激光作用区附近。这样也可避免由局部快速加温引起的微龟裂。采用脉冲工作形式对激光器的热管理也有利。激光脉冲宽度达到 ps 量级后,这方面的优点尤为突出。

选取激光加工波长时,需要考虑物质对激光的吸收效果,并且主要还是出于一些实际操作上的考虑。除了不同波长激光器本身的成熟度等方面的因素之外,采用较短的波长时,由于高光子能量有利于其与物质的相互作用,吸收效果增强,当然也有利于降低衍射极限尺寸和提高光束精度。但进入紫外波段后会对光学透镜材料等具有特殊要求,而紫外和红外波段对人眼的不可见性也会对实际操作的方便性产生影响,所以实际中往往更倾向于选用可见光波段的激光器。比如,波长为 515 nm 的 Yb:YAG 二倍频激光器就是一个很好的选择。

对于激光加工而言, 光束质量也是一个重要因素。固体激光器一般以圆柱状均匀掺杂固体材料或光纤等作为活性介质, 并采用材质对称的结构以及对称均匀的泵浦形式, 因此其基模光场也是对称分布的, 即可产生圆光束; 对 DPSSL 而言, 虽然其泵浦激光器是光束质量并不好的半导体激光器, 但其只是为固体激光介质提供泵浦能量, 因此并不会影响输出光束的质量。对于实际激光器, 常用 M^2 描述光束质量或光束发散偏离衍射极限的程度。对于达到衍射极限的基模高斯光束, $M^2=1$ 。一般说来, $M^2 \leq 1.5$ 的激光束即可很好地用于激光加工。

表 1 列出了在红外焦平面组件封装所用零部件的激光划片加工中使用的绿光皮秒脉冲激光器及其激光加工头的主要参数。这种波长为 515 nm 的皮秒脉冲激光由 1030 nm Yb:YAG 激光器经二倍频产生, 具有很高的峰值功率。例如, 当此皮秒脉冲激光器的平均输出功率为 10 W、重复频率为 200 kHz, 每个脉冲输出的能量为 50 μJ 、脉冲宽度为 10 ps 时, 其平均作用的功率峰值可达到 5 MW。该激光器输出光束的直径约为 3 mm, 经激光加工头聚焦成直径为 30 μm 的激光束, 用于加工时其平均功率面密度可达到 $6.7 \times 10^{11} \text{ W}/\text{cm}^2$ 。由于此激光器脉冲宽度小于 10 ps 且为高斯光束, 局部密度会更高, 可达到 $10^{12} \text{ W}/\text{cm}^2$ 量级。在如此高的功率密度下, 激光在作用区可使几乎所有材料都直接产生瞬间蒸发或气化升华。但由于脉冲占空比仅为百万分之二, 几乎不会看到由热量积累产生温升的影响, 即使对熔点较低材料热熔融的影响也很小, 并且热量几乎不会进入周围材料而导致热应力微裂纹等。因此, 采用重复频率不太高的皮秒激光脉冲进行加工常被称为“冷加工”。

激光加工头主要由用于对激光束进行聚焦的大口径长工作距离远心透镜、用于操纵激光束进行扫描的多维振镜以及用于控制振镜的电子部件和计算机等组成。此激光加工头通过多

表 1 零部件划片加工所用的 515 nm 皮秒脉冲激光器及其激光加工头的主要参数

参数名称	数值	备注
激光波长	515 nm	Yb:YAG 二倍频
最大平均输出功率	15 W	0.1%~100%可调
脉冲宽度	10 ps	皮秒脉冲
最大脉冲能量	75 μJ	有缓慢衰退
重复频率范围	200~400 kHz	常固定为 200
光束质量 (M^2)	< 1.3	—
激光器出口光斑直径	~3 mm	—
聚焦后光斑直径	~30 μm	高斯光束
激光束位置操控分辨率	< 0.5 μm	—
激光束位置重复精度	$\pm 2 \mu\text{m}$	—
振镜光束 XY 操控范围	~40 mm	—
加工光束扫描速度	50~300 mm/s	常固定为 200
光束 Z 轴进退速度	~40 mm/s	—
对位方式	CCD 自动	—

维振镜能够实现 40 mm 左右的聚焦激光束扫描范围, 可满足红外焦平面组件封装中对尺寸较小零件的加工要求, 因此无需另配大范围的机械扫描装置。

2 红外焦平面组件封装中激光划片常涉及的材料

在红外焦平面组件封装中, 由于有光、机、电、热等各方面的结构和功能要求, 所涉及材料种类繁多。根据其特点可大致分为绝缘材料、金属材料 and 半导体材料三类。其中, 绝缘材料又可细分为硬绝缘材料和软绝缘材料。硬绝缘材料包括晶体、陶瓷和玻璃类材料, 主要是一些单晶、多晶或无定形形式的氧化物材料。它们一般具有很高的硬度和熔点, 导热性

较差(也有例外),在组件封装中主要用于薄片状的电路板、过渡电极板、绝缘结构件、挡条和垫片等。其中一些透明材料还可用作光学窗口。由于此类材料硬度高,采用传统加工方式很困难,而采用激光划片加工则特别适合。硬绝缘材料中有两种值得特别一提,一是俗称蓝宝石或白宝石的属于六角晶系的透明 Al_2O_3 单晶片。该材料硬度很高(莫氏硬度为 9),仅次于金刚石,熔点达到 2072°C ,热导较低但绝缘性良好,所以常常通过在其上制作薄层金属电极(如 Cr/Au 等)来用作过渡电极板或电路板等。除直线加工外,封装中受组件尺寸所限,常需将其加工成小尺寸的异形(如圆弧、切角、打孔以及加工出特殊形状等)部件。蓝宝石在紫外到中波红外波段的 $0.19\sim 4.0\ \mu\text{m}$ 范围内是透明的,并具有较高的强度和优良的理化特性,因此也可用作此波段的窗口材料。另外,蓝宝石也是紫外和蓝光发光二极管的衬底材料。目前已有采用紫外激光进行划片的报道^[5];通过用合适方法进行 $1064\ \text{nm}$ 皮秒激光划片加工还可使其边缘获得所需的特定形状^[6]。

另一种值得一提的硬绝缘材料是氮化铝,也属于六角晶系。严格说来,这是一种宽禁带半导体材料(E_g 约为 $6\ \text{eV}$),但其绝缘性很好,并具有高热导特(比蓝宝石高 10 倍左右),熔点达到 2200°C 。封装中使用的氮化铝片主要有白色陶瓷和透明单晶片两种,它们与 Si 和 GaAs 等半导体材料之间的热匹配较好。由于具有高导热性,氮化铝片常用作半导体芯片与制冷金属之间的绝缘基板或热沉,也可用作需要导热的其他零件。此外,氧化锆陶瓷具有高韧性、高抗弯强度和高耐磨性以及优异的隔热性能,其热膨胀系数接近于钢,在封装零部件中可用作陶瓷垫圈;黑色氧化铝陶瓷由于避光性较好也会用到。由于陶瓷类硬绝缘材料具有极高的熔点,激光的作用是使其气化升华。

另一类绝缘材料是塑料类软性材料,如聚酰亚胺薄膜等。它们常用作金属间的柔性绝缘

衬垫或者用于制作柔性电极等。该材料机械加工困难,也可用激光加工。由于其熔点较低,激光划片中热效应也会起到一定作用。

激光划片所涉及的另一类材料是金属。组件封装中会用到多种纯金属及合金材料,即利用其不同特性来实现各种功能。纯 In(熔点为 157°C)和 AuSn 合金(Au80%Sn20%,共晶温度为 280°C)等低熔点材料常用于芯片贴片以及金属管壳封接中的垫片,其较柔软的特性有利于应力释放。由于此类材料熔点低,激光划片中热熔融会起一定作用。在组件封装中,用作芯片电极材料和导电导热及结构件材料的纯金属(如 Au、Ag、Cu、Al 等)种类较多。它们的机械和理化特性各不相同,熔沸点差别也很大。对封装中尺寸很小的零件部位也常用激光进行加工。

组件封装所涉及的金属合金材料有银铜(Ag70%Cu30%)、柯伐(FeNiCo)、因瓦(FeNiC)和钨铜(WCu)等。其中,柯伐合金与玻璃烧结时匹配良好,因此常用于需要有电极引出玻璃封接的管壳管帽等,以保证良好的密封或真空;银铜合金可用于柯伐合金间的钎焊;由于具有极低的热膨胀系数,因瓦合金可用于对热膨胀有特殊要求的零件;钨铜合金与一些半导体材料的热特性匹配较好,常用作热沉材料。对这些合金材料也都会有一些关于切割、打孔和尺寸修正等方面的激光划片与加工要求。

与有机材料相比,陶瓷和金属类材料在真空中的放气率较低,因此更常用作真空杜瓦封装中的零部件材料。激光切割对于一些高反射率、高热导金属材料(如 Al、Cu 及其相关合金体系)来说操作起来较为困难。

红外焦平面组件封装的目的是要实现和充分发挥有源半导体光电芯片的作用和功能。对于芯片类半导体材料如读出电路(Readout Integrated Circuit, ROIC)衬底采用的硅和焦平面阵列(Focal Plane Array, FPA)衬底采用的化合物半导体来说,显然也是可以采用激光划片进行加工的,且已有很多成功案例。

由于半导体芯片加工中已有成熟可靠的芯片分割工艺,如金刚石锯片高速旋转切割、裂片、解理、崩片等,且芯片一般也只需按直线加工分割成方形或矩形,并无特殊形状需要,因此激光划片要求尚不迫切。对半导体芯片包括红外焦平面芯片而言,采用皮秒激光划片也是可行的,但由于其对划片边缘的垂直度常有苛刻要求,而用普通激光加工头的聚焦光束直接扫描时会产生所谓的喇叭口边缘效果,因此会选用具有旋光振镜的激光加工头以及较慢的扫描速度进行加工。这样也可减小粉尘污染。

对于红外焦平面类芯片而言,采用激光加工尚会存在两个方面的担忧:一是激光划片加工中可能具有的热效应是否会对芯片特性特别是其加工临近区域产生有害影响;二是激光辐照是否会对芯片产生有害影响。由于激光加工的光功率密度极高,其反射光和散射光仍可能有较高强度,这样即使加工所用激光束不直接作用在芯片的有源区域上,也有可能对其产生有害影响。因此,在这两方面尚需做细致评估。另外,利用一些半导体材料(如 Ge、Si、SiC 和 GaAs 等)的光学特性也可用其制作窗片、

透镜和滤光片等光学零件(见表 2)。在对其进行激光加工时可无此顾虑,而且组件封装的激光划片中常有涉及。

3 针对不同材料的皮秒激光划片参数设置及优化

在皮秒激光脉冲的作用下,各种材料达到刻蚀所需阈值的平均功率都比较低。对于红外焦平面组件封装中零部件所涉及的材料来说,10 W 左右的平均功率均已明显超过了其刻蚀阈值,因此具有较好的加工效果。

表 3 列出了一些由不同材料构成的组件封装零部件的皮秒激光划片参数。这些皮秒激光加工对象主要是一些薄片状零部件,其加工厚度约在 0.1~1 mm 之间。划片操作主要是对其进行直线分割或者按图形加工成所需形状,也包括开孔(圆形螺丝孔、矩形透光孔等)和刻槽操作以及划线标记等。此皮秒激光经激光加工头聚焦后用于加工的光束直径约为 30 μm ,属于高斯光束。也就是说,光斑上的强度是不均匀的,光斑中心强度高于边缘,激光能量主要集中在中心约 10 μm 区域。

表 2 红外焦平面组件封装中激光划片加工常涉及的材料

材料种类	材料名称	主要特点	组件封装中的主要用途
晶体、陶瓷、玻璃类高熔点高硬度硬绝缘材料	蓝(白)宝石	低热导、透明	电路板、过渡电极板、窗口等
	氮化铝陶瓷或晶体	高热导、热匹配好	挡条和垫片等
	黑色氧化铝陶瓷	遮光性好	电路板、过渡电极板等
塑料类软绝缘材料	聚酰亚胺薄膜、塑料薄膜等	柔性绝缘	柔性绝缘垫片、柔性电极等
	金属材料	In、AuSn 等焊料	低熔点、柔软
AgCu 合金钎焊料		熔点较高	柯伐合金封接
Au、Ag、Cu、Al 等金属		导电导热	电极、导热片、垫片、结构材料
柯伐合金		与玻璃热匹配好	电极引出管壳、管帽等
因瓦合金		低热膨胀	结构件
WCu 合金		与芯片热匹配好	芯片热沉
半导体材料	FPA/ROIC 芯片	半导体	有源芯片
	Ge、Si、SiC、GaAs 等	半导体	窗片、透镜、滤光片等光学件

在将皮秒激光用于常规划片加工时, 通常会把划片槽设置得较宽, 例如 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ (约为材料总厚度的 $1/2 \sim 1/3$)。这样有利于将划片中产生的粉末喷出以免粘结, 从而使得锯路更干净。当划片槽设为 $200 \mu\text{m}$ 时, 实际操作是使加工激光束按 $10 \mu\text{m}$ 步进来回 20 次填满整个划片槽, 至此完成一次扫描。总的扫描次数则要根据材质、厚度以及所用功率来设定。一些材料的常规设置可见表 3。

由表 3 可见, 根据划片材料的不同, 激光功率可大致分为高、中、低三种。对陶瓷类以及常规金属和半导体材料均采用 70% 及以上的高功率, 这主要是为了加快划片速度。功率设置的最高值定在 90% 而不是 100%, 主要是为了留有余地, 以便在激光器长期使用且功率有所衰退后对其进行补偿。在低熔点的金属 (如 In) 和有机薄膜材料 (如聚酰亚胺) 划片中采用 60% 以下的中等功率, 这样可减小由一些材料软化熔融带来的不利影响。在金属上进行划线标记时, 一般采用最低功率即可, 这样线条的清晰精度也高。

根据不同厚度及材质所需的扫描次数, 可计算出平均每次扫描对材料的切割厚度。这些数据也已列于表 3 中 (功率均已按 100%

进行约化)。由表 3 可知, 此激光划片中每次扫描对不同材料的切割厚度是有差别的, 但其数量级基本相当。对高熔点高硬度的陶瓷类材料以及半导体材料的切割厚度每次约为 $10 \mu\text{m}$; 对 Ag 和柯伐合金等金属材料以及有机类材料每次约为 $20 \mu\text{m}$; 对低熔点金属 (由于热熔融的作用) 可到每次 $50 \mu\text{m}$ 以上。我们注意到, 由于 Ag70%Cu30% 合金钎焊料的反射率高且导热性好, 所以其切割厚度较小, 与陶瓷类材料相当。

皮秒激光划片条件设置中的另一个重要参数是激光束焦点的推进速度和方式。由于激光束的能量密度在其焦点上达到最大值, 因此划片中希望焦点是在作用区的表面上, 实际操作则是随划片的进行使焦点分几次向内部推进。表 3 中所列的是在每次推进 0.1 mm 下的参数, 而总的扫描次数则均分到每次推进中。例如, 对于厚度为 0.4 mm 的透明蓝宝石电极板, 总的激光扫描次数为 40 次, 则焦点位置分别停留在 0 mm、0.1 mm、0.2 mm 和 0.3 mm 处且各扫描 10 次。对于厚度只有 0.1 mm 的材料, 则焦点始终在表面上不推进。采用这样的设置可以完成所需划片操作, 但效率上尚未达到最佳水平。

表 3 一些不同材料的零部件激光划片参数

材料名称	材料厚度/mm	功率设置/%	扫描次数	每次扫描切割厚度/ μm
透明蓝宝石过渡电极板	0.4	80	40	12.5
黑色氧化铝陶瓷电极板	0.65	90	80	9.03
氮化铝陶瓷挡片	0.7	90	80	8.72
氧化锆陶瓷垫圈	1.0	70	140	7.94
聚酰亚胺柔性绝缘膜	0.1	40	10	25
In 垫片	0.1	60	3	55.6
Ag 垫片	0.8	90	50	17.8
AgCu 合金钎焊料	0.1	90	10	11.1
柯伐合金开孔	0.25	80	12	26
柯伐合金刻槽	0.5	70	28	25.5
金属划线打标	—	1	1	25
Ge 光学窗口	0.5	70	64	11.2

(未完待续)