材料、结构及工艺

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.20250722001

抛光垫对碲锌镉晶片双面抛光质量影响机制研究

徐　乐*，李振兴，王琰璋，刘江高，侯晓敏
（中国电子科技集团公司第十一研究所，北京 10015）

摘　要： 碲锌镉作为红外探测器用碲镉汞薄膜的首选衬底材料，其质量直接影响后续工艺的成品率。文章针对碲锌镉晶片双面抛光工艺，探究无纺布和聚酯纤维抛光垫对抛光质量的影响，并分析抛光垫材质特性对晶片表面质量和总厚度偏差（TTV）的影响机制。结果表明，使用聚酯纤维抛光垫相较于无纺布抛光垫抛光后碲锌镉晶片整体的厚度分布更加均匀，且具有更小的TTV。另外，多次抛光后聚酯纤维抛光垫的磨损和变形程度较小，使用其抛光的碲锌镉晶片具有更稳定的材料去除速率和抛光质量。该研究为碲锌镉晶片的超精密加工提供了新思路，对双面抛光的进一步深入研究具有重要意义。

关键词： 碲锌镉；抛光垫；双面抛光；总厚度偏差；表面质量
中图分类号： TN215；O786　**文章编号：** 1001－5868(2025)05－0879－05

Research on Mechanism of Polishing Pads Affecting Double-Sided Polishing Quality of CZT Wafers

XU Le, LI Zhenxing, WANG Yanzhang, LIU Jianggao, HOU Xiaomin
(11th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100015, CHN)

Abstract: Cadmium zinc telluride (CdZnTe) is the preferred substrate material for mercury cadmium telluride infrared detectors, and its surface quality directly affects yield of subsequent processes. Focusing on the double-sided polishing process of CdZnTe wafers, this study explores the influence of non-woven or polyester fiber polishing pads on wafer polishing quality and analyzes the mechanism of the material properties of the polishing pads on surface quality and total thickness variation (TTV). The results show that compared with non-woven polishing pads, CdZnTe wafers polished using polyester fiber polishing pads have more uniform overall thickness and lower TTV. In addition, the wear and deformation of polyester fiber polishing pads are lower after multiple polishings, causing the CdZnTe wafers polished using these pads to exhibit more stable material removal rate and polishing quality. This study provides a new concept for ultra-precision processing of CdZnTe wafers, which is expected to be of great significance in furthering the research on double-sided polishing.

Key words: CdZnTe; polishing pad; double-sided polishing; total thickness variation; surface quality

0　引言

碲锌镉（CdZnTe）与碲镉汞（HgCdTe）材料的晶格常数完全匹配，且具有优异的红外透射率和稳定的电学性能，是制备长波、甚长波以及高性能HgCdTe红外探测器的首选衬底材料[1-2]。加工后

收稿日期：2025－07－22.
*通信作者：徐　乐

碲锌镉衬底的表面质量是直接影响碲镉汞外延层生长质量的关键参数，从而影响器件光刻、互连等工艺效果，最终影响器件性能、可靠性和成品率[3]。另外，衬底的厚度均匀性对外延层质量与后续工艺也具有重要影响。厚度均匀性较好的衬底可确保外延层均匀生长，从而提升器件光电响应的一致性和长期稳定性，是实现探测器高分辨率、低噪声性能的必要条件；而厚度均匀性差的衬底不仅会导致外延层厚度不均匀，产生应力集中和晶格失配，进而导致载流子散射加剧、电流分布不均等问题，还会影响后续光刻、互连等工艺的精度，甚至造成器件失效[4-5]。

目前，碲锌镉衬底的表面加工工艺主要包括机械研磨、机械抛光、化学机械抛光和化学抛光，其中抛光工艺按同时加工的表面数量可分为单面抛光和双面抛光[6-8]。相对单面抛光工艺，双面抛光不仅能够充分发挥抛光垫的性能优势，还能够通过同步加工晶片的上下表面平衡其内部应力，提高晶片的厚度均匀性，从而使晶片的总厚度偏差（TTV）达到微米级[9-10]。然而，现有双面抛光研究大多针对硅片或碳化硅，较少有关于碲锌镉晶片的描述[11-13]。碲锌镉晶片具有软脆特性，在双面抛光中容易导致材料去除速率不均匀，从而影响晶片表面的抛光质量和厚度均匀性。此外，目前加工的碲锌镉晶片大多为方片，抛光时边缘的抛光速率通常高于中心区域，易在边角处产生应力集中，引发崩边、塌角等问题[14]。因此，双面抛光工艺决定碲锌镉抛光质量，特别是厚度均匀性的关键工艺。在现有关于碲锌镉晶片抛光加工的研究中，其内容大多围绕单面抛光展开，对碲锌镉晶片双面抛光特别是抛光垫对抛光质量的影响研究较少。

鉴于抛光垫在碲锌镉晶片双面抛光中的关键作用和碲锌镉晶片双面抛光面临的实际难题，本文分别采用两种抛光垫开展实验，探究了双面抛光中抛光垫对碲锌镉晶片抛光质量的影响，并分析其对碲锌镉晶片厚度均匀性的影响机制。研究发现，聚酯纤维抛光垫在提升碲锌镉晶片厚度均匀性、降低TTV及保障长期抛光稳定性方面表现更优，可为软脆材料的超精密双面抛光工艺优化提供参考依据。

1 实验

实验所用样品为〈111〉晶向的三种规格的碲锌镉研磨片，抛光液由金刚石悬浮液和溶剂配制而成。另外，选择适合碲锌镉晶片抛光的无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫作为对比实验，其性能参数如表1所示。在双面抛光前，需使用抛光液润湿抛光垫，按照80～150 g/cm^{2}的单位压力计算单批次的最大抛光压力，并固定抛光液流量和抛光盘转速，设置完成后将游轮片放入抛光盘，并将同一批次晶片放入游轮片孔内，开启自动程序进行抛光。

表1 无纺布和聚酯纤维抛光垫的性能参数

抛光垫类型	厚度/mm	密度/(g/cm^3)	硬度
无纺布抛光垫	108±3	0.7～0.8	55～65
聚酯纤维抛光垫	120±3	0.5～0.6	70～80

采用表面检测显微镜观察抛光垫和碲锌镉晶片的表面形貌。采用厚度测量显微镜测量抛光前后碲锌镉晶片的边缘与中心厚度，分别计算其平均值并根据公式（1）计算碲锌镉晶片的材料去除速率（MRR）。

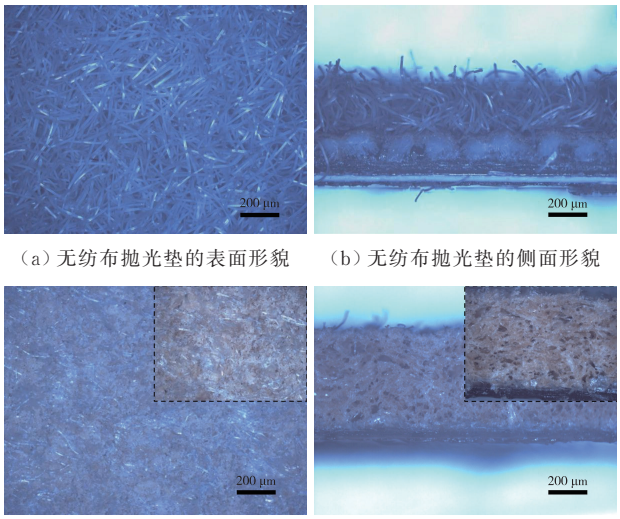
$$MRR=(d_0-d_1)/t \tag{1}$$

式中，d_0为抛光前晶片的平均厚度，d_1为抛光后晶片的平均厚度，t为抛光时间。利用光学轮廓仪、晶圆全检仪分别测量碲锌镉晶片的表面粗糙度和TTV，使用无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫连续抛光一定时间，然后表征抛光垫的耐磨损性能。

2 结果与讨论

2.1 抛光垫的材质与结构

在双面抛光中，抛光垫具有贮存抛光液及去除抛光杂质等作用，其材质和结构直接决定了硬度、弹性模量和气孔率等特性，进而影响晶片的抛光质量[15]。无纺布和聚酯纤维抛光垫的结构如图1所示，无纺布抛光垫表面覆盖有疏松的绒毛结构（图1(a)和(b)），具有较高的弹性和一定的孔隙，而聚酯纤维抛光垫由规则排列的纤维组成（图1(c)和(d)），硬度和孔隙率较高。在抛光过程中无纺布抛光垫的绒毛结构能够适应晶片表面的微小起伏，提供均匀的压力分布，使晶片不同区域的材料去除速率基本保持一致，而聚酯纤维抛光垫较高的硬度能够在抛光过程对晶片的局部变形起到修整作用，使晶片具有更好的厚度一致性，另外，其多孔结构能够有效储存和输送抛光液，减少抛光垫和晶片在抛光过程中产生的摩擦热量。



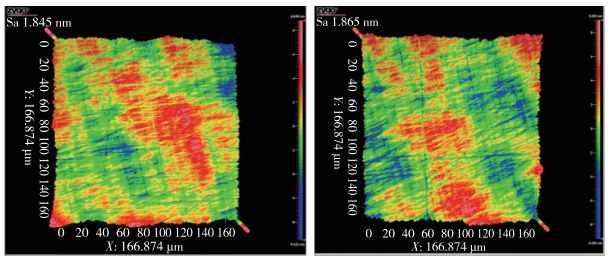
（a）无纺布抛光垫的表面形貌　（b）无纺布抛光垫的侧面形貌

（c）聚酯纤维抛光垫的表面形貌　（d）聚酯纤维抛光垫的侧面形貌

图 1　无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫的表面和侧面形貌

2.2　抛光垫对碲锌镉晶片表面质量的影响

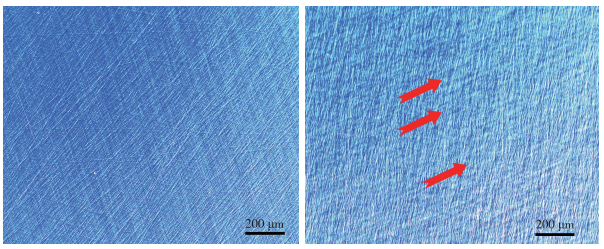
分别对使用两种抛光垫抛光后碲锌镉晶片的表面粗糙度进行表征，如图 2 所示，使用无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫抛光对碲锌镉晶片的粗糙度影响不大，分别为 1.845 nm 和 1.865 nm。



（a）无纺布抛光垫　（b）聚酯纤维抛光垫

图 2　使用无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫抛光后晶片的表面粗糙度

然而，两者的表面形貌存在较大区别。使用聚酯纤维抛光垫抛光的晶片相较于无纺布抛光垫，晶片表面划痕更明显，且存在方向性的“犁沟”特征，如图 3(b)所示。这是因为无纺布抛光垫具有柔软、疏松的纤维表面，抛光时金刚石磨粒运动以滚动为主，通过“微滑动”作用实现碲锌镉晶片表面材料的去除，因此其表面划痕相对细而密集(图 3(a))。而聚酯纤维抛光垫硬度较高，其刚性结构对金刚石磨粒的支撑性较强，磨粒易嵌入较软的碲锌镉晶片表面形成固定切削点，抛光时主要通过切削作用去除材料，容易在晶片表面留下微米级划痕和方向性的“犁沟”。



（a）无纺布抛光垫　（b）聚酯纤维抛光垫

图 3　使用无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫抛光后晶片的表面形貌

2.3　抛光垫对碲锌镉晶片 TTV 的影响

图 4 为分别使用以上两种抛光垫对三种不同尺寸的方形碲锌镉晶片抛光后测试的 TTV 平均值。可以看出，对于三种不同尺寸的碲锌镉晶片，使用聚酯纤维抛光垫抛光后的晶片 TTV 平均值均低于无纺布抛光垫。这是因为无纺布抛光垫的柔软特性使其在受压时容易产生弹性变形，能够适应晶片表面的微小起伏，因此对其厚度均匀性起不到修整作用，进而影响晶片 TTV。相比之下，聚酯纤维抛光垫具有较高的硬度和刚性结构，在抛光时能够有效修整晶片上的局部厚度不均匀区域，减弱因抛光垫弹性变形导致的碲锌镉晶片局部欠抛和过抛现象，从而有效降低碲锌镉晶片的 TTV。

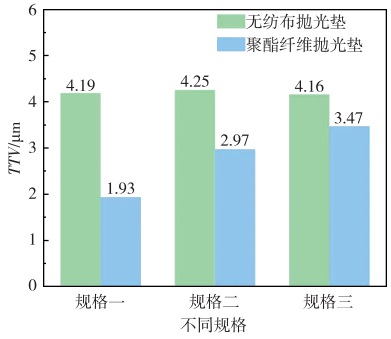
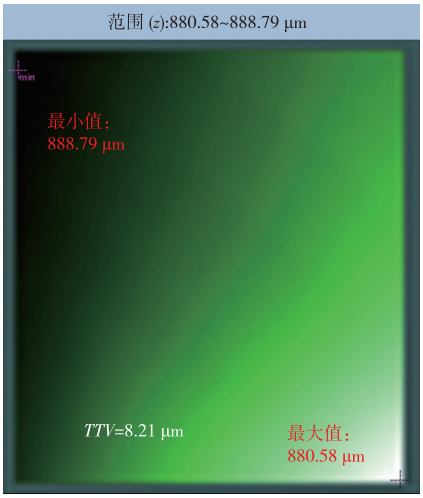


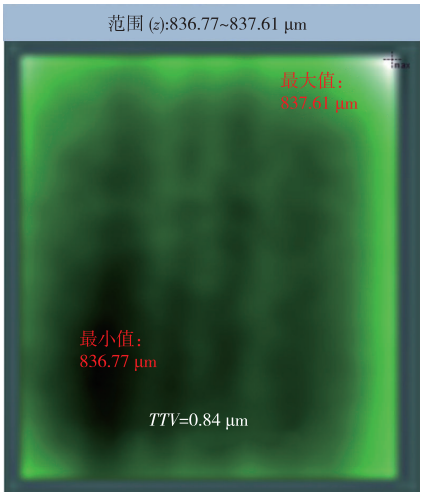
图 4　使用两种抛光垫抛光后碲锌镉晶片的 TTV 平均值

采用同样尺寸规格的晶片，分别使用无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫抛光后的厚度分布图如图 5 所示。使用无纺布抛光后的碲锌镉晶片呈现明显的厚度不均匀现象，其趋势为一边高一边低，且厚度差值较大，达到 8.21 μm(图 5(a))，而使用聚酯纤维抛光垫抛光后的晶片厚度分布为四角高中间低，但其整体厚度变化仅在 1 μm 以内(图 5(b))。这是因为在抛光过程中无纺布抛光垫受压后容易发生弹性变形，无法对碲锌镉晶片起到修整作用，因此抛光后晶片的厚度分布一定程度上依赖抛光前的晶片状态，而聚酯纤维抛光垫由于硬度相对较高，

在抛光时形状更加稳定，不易出现边缘卷曲或变形，有助于改善晶片局部区域的过度抛光或欠抛光，从而提高晶片的厚度均匀性。另外，无纺布结构表面孔隙率相对较低，抛光时易造成抛光液的局部堆积，进一步加剧了碲锌镉晶片不同区域的欠抛或过抛现象，而聚酯纤维抛光垫具有更高的孔隙率，能够有效促进抛光液的均匀流动，减少晶片边缘的磨料富集现象，从而更有利于提高双面抛光过程中碲锌镉晶片的厚度均匀性。



（a）无纺布抛光垫

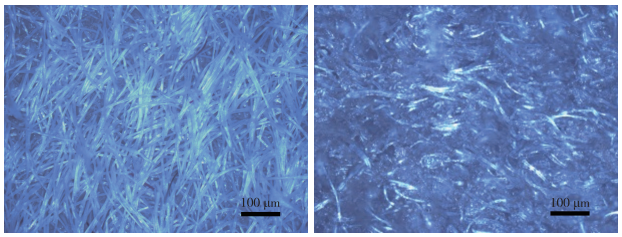


（b）聚酯纤维抛光垫

图 5 碲锌镉晶片分别使用无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫抛光后的厚度分布（测量范围 24.00×30.00 mm^2）

2.4 抛光垫的耐磨损性能

随着对同一个抛光垫使用时间的延长，其表面会逐渐出现变形、釉化或磨损。为探究这两种抛光垫表面的磨损程度和状态变化，使用显微镜分别对连续使用 3 h 后的两种抛光垫进行表征，其形貌如图 6 所示。无纺布抛光垫磨损后表面的绒毛结构由杂乱排列变为方向性排布，且相比磨损前绒毛出现了一定程度的倒伏和缠结（图 6(a)）。抛光过程中，这种方向性排布结构会减弱抛光垫与晶片表面的磨削作用，使晶片的局部区域支撑力和切削作用不稳定，影响抛光晶片的材料去除速率和厚度均匀性。从对抛光液输运的影响来看，无纺布抛光垫原本依靠疏松的绒毛间隙实现抛光液的存储、输送与排出，而磨损后绒毛的排列发生变化，使其内部孔隙直径差别较大，在孔隙堵塞的区域抛光液难以均匀输送和及时排出，可能导致材料去除速率难以控制或晶片表面出现严重划伤甚至碎片。聚酯纤维抛光垫磨损后其本身的初始纤维结构虽也有破损，但因纤维较短且初始排布相对紧凑，磨损后纤维的分布状态变化较小，仍为无序排列（图 6(b)），且由于聚酯纤维抛光垫硬度较高，磨损后结构变形程度较小，相对无纺布抛光垫抛光效果更稳定。



（a）无纺布抛光垫 （b）聚酯纤维抛光垫

图 6 磨损后无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫的表面形貌

为进一步探究抛光垫的耐磨损性能和使用寿命，使用聚酯纤维抛光垫对同一批碲锌镉晶片多次抛光，探究随着抛光次数的变化，其材料去除速率和 TTV 变化。实验结果表明，使用同一抛光垫对晶片三次抛光后，其材料去除速率基本保持稳定，均为 1.5 μm/min 左右，TTV 呈现整体下降趋势，如图 7 所示。这说明抛光垫多次使用后，能够达到一种稳定的磨损表面状态，其弹性和硬度等力学性能趋于稳定，在抛光液流量固定的前提下，可以维持相对恒定的材料去除速率，这也进一步说明磨损后的聚酯纤维抛光垫具有较稳定的表面结构。另外，初始时晶片表面可能存在一些明显的局部凸起或凹陷区域，随着抛光次数的增加，晶片表面的微观凸起部分优先被去除，厚度差逐渐减小，多次抛光后 TTV 能够得到持续改善。

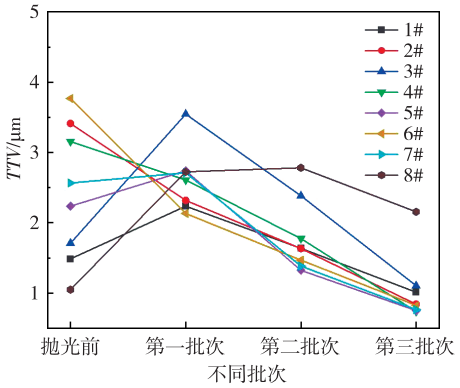


图 7　使用聚酯纤维抛光垫抛光不同次数后碲锌镉晶片的 TTV 变化

3　结论

本研究分析对比了不同抛光垫对碲锌镉晶片双面抛光工艺的影响，并探究了其对抛光后碲锌镉晶片表面质量、TTV 的影响机制。实验结果表明，使用两种抛光垫抛光的碲锌镉晶片表面粗糙度相当，但无纺布抛光垫表面为柔软的疏松纤维，抛光时金刚石磨粒在晶片上的运动以滚动为主，因此其表面划痕相对较轻，而聚酯纤维抛光垫表面为规则排列的纤维，硬度较高，抛光时金刚石磨粒主要以切削作用为主，易在晶片表面留下微米级划痕。另外，无纺布抛光垫和聚酯纤维抛光垫对碲锌镉晶片总厚度偏差的影响存在显著差异，聚酯纤维抛光垫的刚性结构有利于修正晶片上的局部厚度不均匀区域，采用其抛光的碲锌镉晶片具有更好的 TTV，且多次抛光后其结构和抛光质量更为稳定，更适用于碲锌镉晶片等软脆材料的双面抛光。本研究对于碲锌镉晶片的高质量双面抛光具有重要意义，在未来的研究中，可进一步探究抛光垫的其他材质和开槽方式对抛光质量和厚度均匀性的影响。

参 考 文 献：

[1] Sizov F, Zabudsky V, Dvoretskii S, et al. Two-color detector: mercury-cadmium-telluride as a terahertz and infrared detector[J]. Applied Physics Letters, 2015, 106(8): 082104.

[2] Antoszewski J, Akhavan N D, Umana-Membreno G, et al. Recent developments in mercury cadmium telluride IR detector technology[J]. ECS Transactions, 2015, 69(14): 61-75.

[3] Wang X, Antoszewski J, Putrino G, et al. Mercury cadmium telluride waveguides a novel strategy for on-chip mid-infrared sensors [J]. Analytical Chemistry, 2013, 85(22): 10648-10652.

[4] Sizov F, Tsybrii Z, Zabudsky V, et al. Mercury cadmium telluride thin layers as subterahertz and infrared detectors[J]. Optical Engineering, 2015, 54(12): 127102.

[5] Wenisch J, Bitterlich H, Bruder M, et al. Large-format and long-wavelength infrared mercury cadmium telluride detectors[J]. Journal of Electronic Materials, 2013, 42(11): 3186-3190.

[6] Zhou Y, Luo H, Pan G, et al. Study on pad performance deterioration in chemical mechanical polishing (CMP) of fused silica[J]. ECS Journal of Solid State Science and Technology, 2018, 7(6): 295-298.

[7] Schumacher-Härtwig H. Characterization of pad-wafer contact area and distance in chemical-mechanical polishing [J]. ECS Journal of Solid State Science and Technology, 2023, 12(7): 074002.

[8] Dickman A. The science of scratches—Polishing and buffing mechanical surface preparation [J]. Metal Finishing, 2007, 105(10): 13-29.

[9] Zhao F, Zhang Z, Zhou H, et al. Unprecedented developed composite polishing system to achieve atomic surface integrating rough and fine polishing using a novel hyper-conjugated pad through controlling the temperature of a proposed green slurry [J]. Advanced Composites and Hybrid Materials, 2025, 8(3): 234.

[10] Hirose K, Enomoto T. Achievement of high flatness of large diameter silicon wafer in double-sided polishing: optimization of polishing conditions considering relative motion direction [C]// ASME 2009 International Manufacturing Science and Engineering Conference, 2009: 671-676.

[11] Satake U, Enomoto T, Hirose K, et al. Analytical study on double-sided polishing process of 450 mm silicon wafers for improving global flatness [C]//Proceedings of International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, 2015: 1008.1-1008.4.

[12] Satake U, Enomoto T. Kinematic analysis of double-sided polishing of silicon wafers for improving surface flatness [J]. Procedia CIRP, 2023, 117: 56-61.

[13] Wei T, Liu Y, Li M, et al. Experimental and numerical analysis of wafer-to-wafer uniformity in double-sided polishing [J]. Precision Engineering, 2023, 82: 383-391.

[14] 李振兴，柏　伟，王琰璋，等，大尺寸非规则碲锌镉晶片双面抛光技术[J]. 人工晶体学报，2023，52(2)：244-251.
Li Zhenxing, Bai Wei, Wang Yanzhang, et al. Study on double sided polishing technology of large size irregular CdZnTe wafer [J]. Journal of Synthetic Crystals, 2023, 52(2): 244-251.

[15] Zhong Z W. Recent developments and applications of chemical mechanical polishing [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 109(5): 1419-1430.

作者简介：

徐　乐(1999—)，女，山东省济南市人，硕士，主要研究方向为半导体材料加工。