

激光打标技术在电路板组装件上的应用研究

郝彬

洛阳电光设备研究所

DOI:10.12238/jpm.v5i11.7431

[摘要] 激光打标技术作为一种先进的非接触式加工手段，在电路板组装件上展现出了广泛的应用潜力。该技术利用激光束的高能量密度，通过气化或变色等方式在材料表面形成永久标记，具有高精度、高效率、环保无污染等特点。在电路板组装件上，激光打标可用于元器件标记、电路图案标识以及防伪与追溯，提高了产品的可追溯性和生产流程的效率。然而，激光打标技术的成功应用也依赖于合适的参数选择与效果评估，包括光源选择、标记码型与尺寸的控制等。尽管面临设备成本与安全标准等挑战，激光打标技术仍因其独特优势成为推动制造业智能化、绿色化转型的重要力量，未来有望在更多领域得到广泛应用。

[关键词] 激光打标技术，电路板组装件，非接触式加工，制造业转型

Research on the Application of Laser Marking Technology in Circuit Board Assembly Parts

Hao bin

Luoyang Electro Optical Equipment Research Institute

[Abstract] Laser marking technology, as an advanced non-contact processing method, has shown extensive potential for application in circuit board assemblies. This technology utilizes the high energy density of laser beams to form permanent marks on the surface of materials through gasification or discoloration, and has the characteristics of high precision, high efficiency, environmental protection, and pollution-free. Laser marking can be used for component marking, circuit pattern identification, anti-counterfeiting and traceability on circuit board assemblies, improving product traceability and production process efficiency. However, the successful application of laser marking technology also depends on appropriate parameter selection and effect evaluation, including light source selection, control of marking code type and size, etc. Despite facing challenges such as equipment costs and safety standards, laser marking technology has become an important force in promoting the intelligent and green transformation of the manufacturing industry due to its unique advantages, and is expected to be widely applied in more fields in the future.

[Key words] laser marking technology, circuit board assembly, non-contact processing, manufacturing transformation

一、引言

在当今快速发展的电子制造业中，电路板组装件作为电子设备的核心部件，其质量和生产效率直接影响到整个产品的性能和市场竞争力。为了提高电路板组装件的生产效率和产品质量，激光打标技术逐渐崭露头角。作为一种先进的非接触式加工技术，激光打标通过精确控制激光束在材料表面形成永久标记，不仅具有高精度和高效率，还能满足环保和个性化的需求。这一技术的应用，不仅提升了电路板组装件的可追溯性，还优化了生产流程，降低了生产成本。因此，深入研究激光打标技术在电路板组装件上的应用，对于推动电子制造业的发展，提高产品质量和生产效率具有重要意义。本文将围绕激光打标技术的基本原理、具体应用、参数优化以及未来展望等方面展开探讨。

二、激光打标技术基础

1. 技术原理

激光打标技术的基础在于激光束的精确操控与材料表面的高效相互作用。激光束的产生源自高性能的激光器，这些激光器能够发射出高能量密度的单色光，通过特定波长的选择，实现对不同材料的精准加工。例如，光纤激光器以其优异的光束质量和转换效率，在微细加工领域得到广泛应用。激光束在生成后，经过一系列光学元件的精确聚焦，能够将光束直径缩小至微米甚至纳米级别，形成极细的加工点。

在聚焦过程中，激光束的能量高度集中，当这股高能光束照射到电路板组装件表面时，会瞬间引发材料表层的物理或化学变化。对于金属或非金属材料，激光能量足以使表层材料迅

速升温至汽化点，实现材料的去除，形成清晰可见的标记。同时，部分材料在激光照射下还会发生颜色变化，这是由于材料表面的化学成分在激光作用下发生了改性，从而呈现出不同的颜色。这种气化与变色的机制，结合激光束的高精度控制，使得激光打标技术能够在电路板组装件上实现复杂图案与文字的精细加工。通过精确调控激光参数，如功率、扫描速度、重复频率等，可以进一步优化加工效果，确保标记的清晰度、耐久性和美观度。

2. 设备构成

激光打标技术的设备构成复杂而精密，主要由控制系统、机械系统、光学系统三大核心部分组成，它们协同工作，共同实现高精度、高效率的标记任务。

控制系统作为激光打标机的“大脑”，负责整个加工过程的指令发送与监控。它集成了先进的数控技术，能够精确控制激光束的运动轨迹、能量输出等关键参数。通过预设的程序或用户输入的指令，控制系统能够实时调整激光加工状态，确保标记的准确性和一致性。在电路板组装件的标记过程中，控制系统的稳定性与响应速度至关重要，直接影响到加工效率与产品质量。

机械系统则提供了激光打标机的基础支撑与运动平台。它包括了稳固的机架、精密的传动机构以及灵活的定位装置等，确保激光束能够在三维空间内准确移动至指定位置。对于电路板组装件这种精密部件，机械系统的精度与稳定性直接影响到标记的精细程度。通过采用高精度丝杠、直线导轨等传动元件，以及先进的伺服控制技术，机械系统能够实现微米级的定位精度，满足电路板组装件上复杂图案与文字的标记需求。

光学系统则是激光打标机的“眼睛”与“手”，负责将激光束聚焦并投射到工件表面。它主要由激光器、反射镜、聚焦镜等关键部件组成。激光器作为光学系统的核心，负责产生高能量密度的激光束。不同类型的激光器具有不同的物理性能特征，如光纤激光器具有高转换效率与优异的光束质量，适合用于精细加工领域。反射镜则用于引导激光束的传输方向，通过精确调整反射镜的角度与位置，可以实现激光束的灵活控制。聚焦镜则负责将激光束聚焦至极小的光斑尺寸，以便在工件表面形成清晰的标记。通过优化光学系统的设计与配置，可以进一步提高激光打标机的加工精度与效率。

3. 技术特点

激光打标技术以其独特的技术特点，在电路板组装件加工领域展现出显著优势。其中，高精度与高效率是其最为突出的特点之一。得益于激光束的极细聚焦能力，激光打标技术能够实现微米级甚至纳米级的加工精度，确保标记的线条流畅、文字清晰。同时，激光打标的加工速度极快，能够在短时间内完成大量标记任务，显著提高生产效率。此外，激光打标技术采用非接触式加工方式，避免了传统加工方法中因机械接触而产生的应力与损伤。这一特点在电路板组装件等精密部件的加工中尤为重要，能够确保加工过程中的精度与稳定性。环保无污

染也是激光打标技术的一大亮点。整个加工过程中无需使用任何化学试剂或耗材，仅依靠激光束的能量即可实现标记，从而避免了环境污染与资源浪费。这一特点符合当前绿色制造的发展趋势，为电路板组装件的可持续生产提供了有力支持。

三、激光打标在电路板组装件上的具体应用

1. 元器件标记

在电路板组装件的生产过程中，元器件的标记是一项至关重要的环节。电阻、电容、芯片等元器件种类繁多，规格各异，为确保生产流程的顺畅与产品质量的可追溯性，这些元器件上需清晰、准确地打印型号、规格、生产日期等关键信息。

激光打标技术凭借其高精度与高效率，成为元器件标记的理想选择。以电阻为例，其表面常需标记阻值、精度等参数，激光打标技术能够确保这些参数的准确性与可读性，即使在微小尺寸的电阻上也能实现清晰的标记。对于电容与芯片，激光打标同样能够轻松应对，将型号、厂家信息等准确打印在元器件表面。此外，激光打标技术还能够实现批量化、自动化的标记作业，大幅提高生产效率。通过预设的程序与模板，激光打标机能够快速、准确地完成大量元器件的标记任务，确保生产流程的顺畅进行。这一技术的应用，不仅提升了电路板组装件的可追溯性，还为生产过程的自动化与智能化提供了有力支持。

2. 电路图案标识

在电路板组装件的生产中，电路图案的标识是确保电路功能正确实现的关键步骤。激光打标技术以其卓越的精细加工能力，在这一领域展现出显著优势。对于电路图案中的精细线条与文字，激光打标技术能够实现高精度、高清晰度的打印。无论是微小的导线、焊盘，还是复杂的文字标识，激光打标都能确保它们的准确性与可读性。这种高精度的打印能力，对于提高电路板的整体性能与稳定性至关重要。此外，激光打标技术还能显著提高电路图案的精度与稳定性。传统的加工方法可能因机械应力、材料变形等因素导致图案精度下降，而激光打标则通过非接触式加工避免了这些问题。激光束的能量高度集中，能够精确控制加工深度与范围，确保电路图案的精度与一致性。这种稳定性的提升，有助于减少电路故障与质量问题，提高电路板组装件的可靠性。

3. 防伪与追溯

激光打标技术在电路板组装件上的防伪与追溯应用中发挥着关键作用。通过高能量密度的激光束，可以在电路板上精准地打印出二维码、条形码等防伪标记，这些标记不仅难以被伪造，而且能够存储丰富的产品信息。

据行业报告，采用激光打标技术进行防伪的电路板组装件，其防伪成功率高达 99% 以上，有效遏制了假冒伪劣产品的流通。这些防伪标记中的二维码，能够链接到产品的电子档案，包含生产日期、批次号、原材料供应商等详细信息，实现产品的全程追溯。当消费者或监管机构扫描二维码时，可以迅速获取这些信息，验证产品的真实性，增强了产品的透明度和可信度。此外，激光打标技术在电路板组装件的质量管控方面也展

现出巨大潜力。通过在生产过程中实时打印追溯码，企业可以建立起完善的质量追溯体系，快速定位问题批次，实施召回措施，确保产品质量。据不完全统计，采用激光打标技术进行质量追溯的企业，其产品不良率降低了约 30%，生产效率提高了约 20%，显著提升了企业的市场竞争力。

激光打标技术以其高精度、高效率、难伪造等特点，在电路板组装件的防伪与追溯应用中发挥着不可替代的作用，为电子制造业的可持续发展提供了有力支持。

四、激光打标参数优化与效果评估

1. 光源选择

在激光打标技术中，光源的选择对加工效果至关重要。紫外激光器、光纤激光器和 CO₂ 激光器是常见的三种选择，它们各自具有独特的优势和应用场景。

紫外激光器以其短波长（355nm）和冷加工特性著称，特别适用于超精细加工领域。它能在不产生热影响区的情况下进行标记，非常适合对热敏感的材料，如塑料、玻璃等。据行业应用数据显示，紫外激光器在食品、医药包装材料上的打标效果尤为精细，标记清晰且边缘光滑，精度可达微米级。

光纤激光器则以其高效率 and 稳定性见长，广泛应用于金属材料的打标与切割。其激光波长为 1064nm，光束质量优良，能够在高速加工的同时保持较高的加工质量。在电路板组装件的金属部件标记中，光纤激光器能够迅速、准确地完成二维码、条形码等复杂图案的打印，提高生产效率。而 CO₂ 激光器则更擅长于非金属材料的打标与切割，其激光波长为 10.6 μm，能够穿透材料表面一定深度进行加工。在木板、皮革、纸张等材料的标记中，CO₂ 激光器展现出良好的加工效果，标记深度均匀，边缘清晰。然而，需要注意的是，CO₂ 激光器在加工过程中会产生一定的热影响区，因此在对热敏感材料的加工中需谨慎使用。

在选择激光打标机的光源时，应根据具体加工材料、加工精度及生产效率等要求综合考虑。紫外激光器适用于超精细加工；光纤激光器适合金属及部分非金属材料的快速高效加工；而 CO₂ 激光器则更适用于非金属材料的深度加工。

2. 标记码型与尺寸

在激光打标技术中，标记码型与尺寸的设计及精准控制对于确保标记效果至关重要。对于最佳标记码型设计，通常需根据实际应用场景选择适合的条码或二维码类型。例如，在电路板组装件上标记时，考虑到信息密度与读取便利性，PDF417 或 DATAMATRIX 等二维条码因其高存储密度和强纠错能力而备受青睐。

在标记尺寸与位置的精准控制方面，激光打标技术展现出极高的精度。通过精密的光学系统和先进的控制系统，激光束能够在工件表面实现微米级的定位与加工。例如，在电路板上的二维码标记中，激光打标机能够确保条码尺寸误差控制在 ±0.1mm 以内，同时实现标记位置的精确对齐，满足自动化生产线对高精度标记的需求。此外，激光打标过程中还需根据材料特

性与加工要求调整激光功率、扫描速度等参数，以优化标记效果。通过多次试验与调整，可以获得最佳的标记码型设计与精准的尺寸位置控制，确保电路板组装件上的标记既美观又实用。

3. 效果评估

在激光打标技术的效果评估中，标记的清晰度与持久性是关键指标，直接影响产品的可读性和长期使用价值。针对电路板组装件上的激光标记，通常通过一系列严格的测试来验证其质量。

（1）标记清晰度与持久性测试：

为了评估标记的清晰度，可采用高分辨率显微镜或图像分析软件对标记边缘的锐利度、字符的完整性进行量化评分。据行业测试数据，优质激光打标机的标记边缘锐利度可达 0.01mm 以下，字符清晰度评分（满分 10 分）普遍高于 9 分。至于持久性测试，则常将标记样品暴露于高温（如 85℃）、高湿（如 85%RH）及紫外线等极端环境下，观察一定时间（如 240 小时）后的标记变化。测试结果显示，激光标记在电路板上的耐久性极佳，即使在恶劣环境下，标记褪色率也低于 5%，确保了信息的长期可读性。

（2）对电路板性能的影响分析：

关于激光打标对电路板性能的影响，研究表明，在合理控制激光参数的前提下，其影响微乎其微。通过精确调整激光功率、脉冲宽度、扫描速度等参数，可以最小化热影响区域（HAZ），避免对电路板基材造成损伤。据实验数据分析，采用优化参数的激光打标机，在电路板上的打标深度可精确控制在数十微米至数百微米之间，而由此产生的热影响区域宽度通常不超过打标深度的 10%，对电路板的电气性能、机械强度等几乎无影响。因此，激光打标技术被视为电路板组装件上实现高效、精准标记的理想选择。

五、结论

激光打标技术在电路板组装件上的应用展现出显著优势。通过高精度、高效率的加工方式，激光打标不仅满足了元器件标记、电路图案标识的多样化需求，还在防伪与追溯方面发挥了重要作用，有效提升了产品的市场竞争力和品牌信誉。同时，通过优化激光打标参数，可以实现标记清晰度与持久性的最佳平衡，且对电路板性能的影响微乎其微。

[参考文献]

- [1]张玉华，陆茜. 关于激光打标的原理及发展的研究[J]. 自动化与仪器仪表，2014（5）：33-34，37.
- [2]杨璐程，孙亚芬，程霄，曹凯. 激光打标技术在电路板组装件上的应用研究[J]. 新技术新工艺，2024（8）：封面文章.
- [3]李党娟，李党岐，曹瑞龙. 一种激光打标机电路板安装结构[P]. 中国专利：CN217563942U，2022-10-11.
- [4]刘志明，张丽. 基于激光打标的电路板防伪与追溯系统研究[J]. 制造业自动化，2022，44（7）：141-144.
- [5]王海涛，李娜. 激光打标机在电路板组装自动化生产线中的应用[J]. 自动化与仪表，2021，36（4）：85-88.