

# 基于EtherCAT总线的激光剥离全自动线PLC 上下料控制系统设计

李晓燕<sup>1\*</sup>, 马海亮<sup>1</sup>, 武琦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国电子科技集团公司第二研究所, 山西 太原

<sup>2</sup>太原工业学院自动化系, 山西 太原

收稿日期: 2025年6月3日; 录用日期: 2025年6月25日; 发布日期: 2025年7月4日

## 摘要

EtherCAT总线作为一种高性能的以太网现场总线技术, 以其低延迟、高带宽和易扩展等特点, 在工业控制领域得到了广泛应用。本文旨在研究并开发一种基于EtherCAT总线的全自动激光剥离自动线PLC上下料传输控制系统, 以提高其运动性能和控制精度, 满足激光剥离工艺的自动化生产需要。

## 关键词

EtherCAT, 激光剥离, 上下料

## Design of PLC Loading and Unloading Control System for Fully Automatic Laser Lift-Off Line Based on EtherCAT Bus

Xiaoyan Li<sup>1\*</sup>, Hailiang Ma<sup>1</sup>, Qi Wu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The 2nd Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Taiyuan Shanxi

<sup>2</sup>Department of Automation, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan Shanxi

Received: Jun. 3<sup>rd</sup>, 2025; accepted: Jun. 25<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 4<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

EtherCAT bus, as a high-performance Ethernet fieldbus technology, has been widely used in the field of industrial control due to its low latency, high bandwidth, and easy scalability. This article aims to study and develop the PLC loading and unloading control system for fully automatic laser Lift-off

\*李晓燕(1979-), 女, 电子科技集团公司第二研究所, 现从事激光剥离工艺装备的研发。

文章引用: 李晓燕, 马海亮, 武琦. 基于 EtherCAT 总线的激光剥离全自动线 PLC 上下料控制系统设计[J]. 动力系统与控制, 2025, 14(3): 215-220. DOI: 10.12677/dsc.2025.143022

line based on EtherCAT bus, in order to improve its motion performance and control accuracy, and meet the automation production needs of laser Lift-off process.

## Keywords

EtherCAT, Laser Lift-Off, Loading and Unloading

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. EtherCAT 总线控制

EtherCAT (Ethernet for control Automation technology)具备灵活的网络拓扑结构, 系统配置简单, 采用主从结构, 由一个主站(Master)和多个从站(Slave)组成, 每个从站都有自己的网络地址和唯一的标识符[1]。主站发送指令, 从站执行命令并向主站反馈执行结果。EtherCAT 网络具有高速数据传输的特性, 能够实现快速数据交换和响应, 特别适用于高速高精度运动控制系统。

激光剥离全自动线运行中, SiC 晶锭和晶片的自动上下料与传输是全自动生产线的重要环节, 直接影响激光剥离生产线的可靠运行及出片效率。上下料传输伺服运动轴采用 EtherCAT 总线控制, 与传统脉冲、模拟量控制相比, EtherCAT 总线的优势体现在:

- 1) EtherCAT 的网络拓扑结构使各从站之间只需一根网线, 使激光剥离上下料控制系统硬件接线简洁高效;
- 2) EtherCAT 的主从结构和实时性使单台设备运行与物料传输互不干涉;
- 3) EtherCAT 的扩展性为系统升级提供了便利。

## 2. 激光剥离工艺及自动线

碳化硅, 化学式 SiC, 是第三代半导体产业发展的重要基础材料。SiC 晶锭经过切割、研磨、抛光、清洗等工序加工形成 SiC 晶片[2], SiC 晶片作为半导体衬底材料, 经过外延生长、器件制造制成碳化硅功率器件和微波射频器件。

激光剥离工艺主要用于 SiC 晶锭(一般是 6 寸或 8 寸)切割, 是通过激光在晶锭内部形成改质层, 然后再从晶锭上剥离出一片片 SiC 晶片[3]。激光剥离工艺损耗低、效率高、出片量多, 可以大大降低 SiC 器件成本; 随着 SiC 晶片向更大尺寸(12 寸)方向发展, 激光剥离工艺以其非接触兼高效高精度的独有特性有取代传统线切割工艺的趋势[4]。

激光剥离全自动生产线由激光改质 1 号机、激光改质 2 号机、超声剥离 3 号机以及上料、传输、下料 6 部分组成, 见图 1。



Figure 1. Fully automatic laser lift-off line sketch

图 1. 全自动激光剥离生产线示意图

激光剥离全自动生产工艺流程是，上下料机构接收到上料信号，上料机构首先把待切割 SiC 晶锭送入上料缓冲位，然后传输机构把晶锭送到改质 1/改质 2 的待料位或工位，晶锭经过激光扫描改质，之后传输机构把晶锭送到剥离的待料位或工位，晶锭经过超声剥离，最后晶锭和晶片分别下料。下料后的晶锭经过减薄工序后，又流入上料工位，如此循环晶锭进，晶片出。

### 3. PLC 上下料硬件设计

激光剥离全自动线，单台设备由工控机控制，上下料传输由 PLC 控制。PLC 上下料控制系统中，PLC 选用汇川 AM500 系列，人机界面触摸屏选用繁易 FE6100 系列，伺服电机选用高创 CDHD2 总线型伺服，具体电气硬件选型见表 1。伺服电机通过 EtherCAT 总线依次连接。PLC 作为主站，8 个伺服电机作为从站，每个从站设备有两个以太网口，一个 IN 与上一个从站连接，另一个 OUT 与下一个从站连接，所有从站串联起来，由主站整体调度，实现对上下料传输系统的协调控制，见图 2。

Table 1. Electrical hardware selection table

表 1. 电气硬件选型

名称	型号	功能	品牌
PLC	AM522	控制系统	汇川
耦合器	GL10-RTU-ECTA	远程控制	汇川
触摸屏	FE6100	人机界面	繁易
伺服电机	PH2-M08A23035T40D	上料 Y 和下料 Y，750 W	高创
伺服电机	PH2-M06B23035T40D	传输 X1 和传输 X2，400 W	高创
伺服电机	PH2-M06B23035T41D	上料 Z 和下料 Z，传输 Z1 和传输 Z2，400 W，带抱闸	高创
伺服驱动器	CDHD2-4D52AEC2-R0	750 W 电机驱动	高创
伺服驱动器	CDHD2-0032AEC2-R0	400 W 电机驱动	高创

注：下料 Y、下料 Z 与上料相同，传输 X2、传输 Z2 与上料相同。

因为上料和下料有一定距离，下料输入输出采用 PLC 耦合器连接 PLC 本体，也是通过 EtherCAT 总线先连；操作触摸屏上下料各一个，即 PLC 与 2 个触屏通过 Modbus TCP 通讯，此时 2 个触摸屏是主站，PLC 是从站。

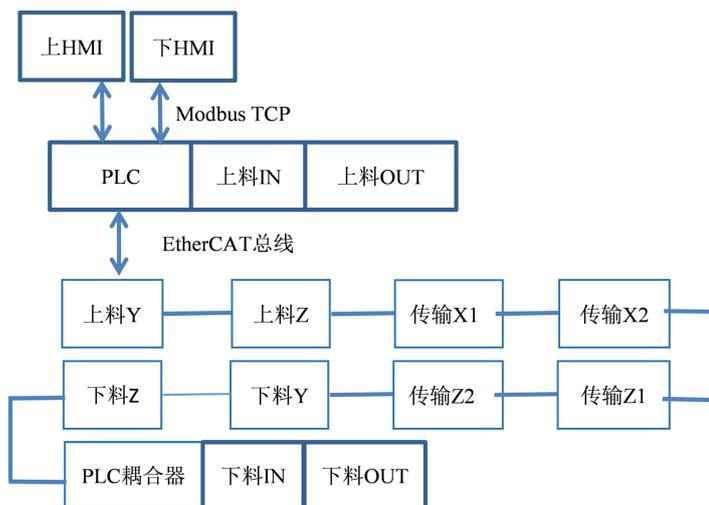


Figure 2. EtherCAT network connection diagram

图 2. EtherCAT 网络连接图

## 4. PLC 上下料软件编程

自动线上下料软件包括 PLC 软件和界面设计软件两部分，均采用模块化设计。

### 4.1. PLC 程序设计

PLC 程序设计采用汇川 InoProShop 软件平台，是基于 Codesys 平台开发的中型 PLC 编程软件，可以是梯形图、结构化文本，或二者交替使用。

上下料、传输执行机构均由各自的机械手带夹爪完成。上料机械手 Y、Z 向运动由伺服电机实现，晶锭的拾放由气缸控制气爪实现(下料机械手结构相同)；传输机械手 X、Z 向运动由伺服电机实现，传输气爪与上下料气爪类似，气爪闭合取料，气爪张开放料，见图 3。

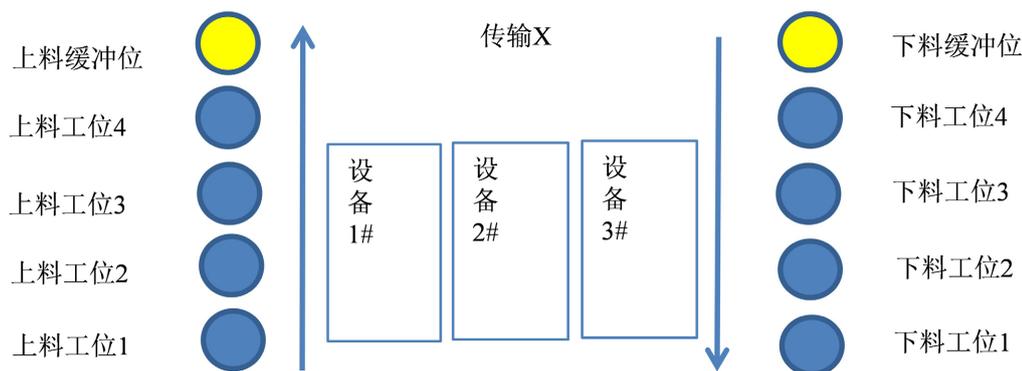


Figure 3. Loading and unloading diagram  
图 3. 上下料传输示意图

单步上料程序：一旦改质或剥离的待料位空，并接收到上料信号，上料机械手依次从上料工位 1~4 搬运晶锭至上料缓冲位。

单步传输程序：传输机构包含 2 个机械手，自动分配，协调运行，从上料缓冲位传输晶锭到指定改质的待料位或工作位；或从改质工作位到剥离待料位，又或从剥离工作位传输晶锭到下料缓冲位。

单步下料程序：剥离工艺结束，接收到下料信号，下料机械手依次从下料缓冲位搬运晶锭至下料位 1~4。

全自动程序：上下料传输过程中，既要保证晶锭精准拾取和落位，又要保证运行安全高效[5]。上下料机械手运行到缓冲位时，确保传输机械手移开；同样传输机械手到缓冲位时，确保上下料机械手移开。传输机构 2 个机械手之间安装有防撞传感器，避免安全隐患。

### 4.2. 界面设计

界面设计采用繁易 FStudio 触摸屏界面设计软件，2 个触屏就近操作。上料触屏操作上料及上传输，下料都可以触屏操作上料及下传输。

界面设计主要包含启动界面、调试界面、单步运行界面、自动运行界面、报警界面等。

启动界面，输入登录密码进入主菜单，按键进入其他界面。

调试界面，用于单轴伺服电机运行调试，包括各运动轴的 JOG+，JOG-，当前值显示，定位运行等。

单步运行界面，输入系统参数及工艺参数，可以一键上料，上料传输，下料传输，一键下料，单步运行整个上下料及传输流程。

自动运行界面，整个激光剥离系统自动线的全自动运行。

报警界面，运行中的报警及提示信息。

### 4.3. 工控机与 PLC 交互通讯

全自动线3台工艺设备中,单台设备工控机与上下料 PLC 之间通过交换机网口硬件相连,通过 TCP/IP 通讯协议交互信号,见表 2。

**Table 2.** Interactive signal  
**表 2.** 交互信号表

工控机 → PLC	PLC → 工控机	地址
	待机	QX500.0 = 1
全自动运行		QX500.1 = 1
待料位上料允许	待料位上料完成	QX500.2 = 1 QX500.3 = 1
工作位上料允许	工作位上料完成	QX500.4 = 1 QX500.5 = 1
下料允许	下料完成	QX500.6 = 1 QX500.7 = 1

对单台设备而言,工控机相当于上位机,上下料 PLC 相当于下位机。工控机给 PLC 信号,PLC 收到给出反馈信号;反之亦然。上料时,PLC 接收到上料允许信号,上料完成后 PLC 反馈给工控机上料完成信号;工控机完成各自工艺需要下料时,给 PLC 下料信号,PLC 完成下料后再反馈给工控机。

### 4.4. 部分程序代码

```

VAR_GLOBAL //全局定义变量
    X 轴使能 AT: BOOL;
    X 使能 ON AT: BOOL;
END_VAR
PROGRAM X 轴定位 //子程序定义
VAR
    TON_0: TON;
    MC_Power_0: MC_Power;
END_VAR
TON_0(IN:= TRUE, PT:=t#0.05s, Q=> X 轴使能, ET=>); //延时 X 轴使能
MC_Power[0](
    Axis:=X_Axis,
    Enable:=TRUE,
    bRegulatorOn:=X 轴使能,
    bDriveStart:=1,
    Status=>X 使能 ON,
    bRegulatorRealState=>,
    bDriveStartRealState=>,
    Busy=>,
    Error=>,
    ErrorID=>);
    
```

## 5. 结束语

全自动激光剥离生产线, 把 EtherCAT 总线引入运动控制系统, 将多个伺服运动轴从站连成一条总线, 实现了数据的实时传输, 使以太网的速度与激光剥离装备的自动化结合, 进一步降低了 SiC 晶片生产成本, 提高了生产效率, 助力 SiC 器件向更广领域延伸。

## 基金项目

国家重点研发计划项目(2023YFB4606300)、山西省科技重大专项(202201030201007)。

## 参考文献

- [1] 打通 EtherCAT 的奇经八脉[EB/OL]. <http://www.csdn.net>, 2024-08-01.
- [2] 娄艳芳, 等. 8 英寸导电型 4H-SiC 单晶衬底制备与表征[J]. 人工晶体学报, 2022, 51(9-10): 1745-1748.
- [3] 张志耀, 牛奔. SiC 激光改质剥离工艺材料损耗控制技术[J]. 电子工业专用设备, 2023, 52(3): 22-25.
- [4] 胡北辰, 等. SiC 单晶材料的激光剥离技术研究进展[J]. 电子工艺技术, 2022(4): 192-195+222.
- [5] 宋婉贞, 等. 全自动上下料方法在半导体设备中的应用[J]. 自动化应用, 2024, 65(15): 123-125.