



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—XXXX

半导体制造用温控设备（Chiller）数据通信规范

Data communication specification for temperature control equipment (Chiller) used
in semiconductor manufacturing

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发 布

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 缩略语 4

5 总体架构与设备层通信模型 4

 5.1 通信体系总体架构 4

 5.2 设备层核心通信功能模型 5

 5.3 多协议产线系统对接模型 5

6 通信接口与多协议规范 5

 6.1 通信接口通用要求 5

 6.2 基础强制协议 5

 6.3 主流推荐协议：EtherCAT 5

 6.4 专用可选协议：SECS-II/GEM/HSMS 6

 6.5 协议扩展规则 6

7 通用数据字典与多协议映射 6

 7.1 数据字典通用要求 6

 7.2 通用数据分类与核心数据项 6

 7.3 多协议数据映射规则 7

8 设备层通信交互流程 7

 8.1 通用交互流程 7

 8.2 协议特定交互流程 7

9 通信安全规范 8

 9.1 安全总体要求 8

 9.2 身份认证与访问控制 8

 9.3 数据传输安全 8

 9.4 异常安全防护 8

 9.5 安全审计与日志 8

10 设备互操作性要求 8

 10.1 协议互操作性分级 8

 10.2 数据语义互操作性 8

 10.3 产线系统集成兼容性 9

 10.4 版本兼容性 9

11 符合性测试与验证方法 9

 11.1 测试环境 9

 11.2 测试项目与测试方法 9

 11.3 测试判定规则 9

 11.4 测试报告规范 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

半导体制造用温控设备（Chiller）数据通信规范

1 范围

本文件规定了半导体制造用温控设备（Chiller）设备层数据通信的总体架构、多协议接口规范、通用数据字典、设备层交互流程、通信安全要求、设备互操作性要求及符合性测试验证方法。

本文件适用于半导体晶圆制造光刻、刻蚀、薄膜沉积、离子注入、清洗等全工艺环节用Chiller设备，与工厂EAP、MES、CIM系统、设备控制器及关联工艺设备之间的数据通信设计、研发、集成、测试与运维。

本文件适用于支持RS232/485/422、Modbus RTU（RS485）、Modbus TCP、DeviceNet、EtherCAT、CC-Link、SECS-II/GEM/HSMS、LonWorks等任意一种或多种通信协议的半导体Chiller设备。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 19582.1 基于Modbus协议的工业自动化网络规范 第1部分：Modbus应用协议

GB/T 19582.2 基于Modbus协议的工业自动化网络规范 第2部分：Modbus协议在串行链路上的实现指南

GB/T 19582.3 基于Modbus协议的工业自动化网络规范 第3部分：Modbus协议在TCP/IP上的实现指南

GB/T 33863 工业自动化系统与集成 开放平台通信统一架构（OPC UA）规范

GB/T 18430.1 蒸气压缩循环冷水（热泵）机组 第1部分：工业或商业用及类似用途的冷水（热泵）机组

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

ETG. 5003.1 V1.0.0 半导体设备通用规范（Common Device Profile）

ETG. 5003.3000 V1.0.0 半导体设备规范 第3000部分：Chiller

SEMI E4 半导体设备通信标准 1 消息传输（SECS-I）规范

SEMI E5 半导体设备通信标准 2 消息内容（SECS-II）规范

SEMI E30 制造设备通信与控制通用模型（GEM）规范

SEMI E37 高速 SECS 消息服务（HSMS）通用服务规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

半导体制造用温控设备 Chiller

通过气体、液体或冷媒热传导控制半导体制造设备关键部件或单元温度的温控装置。
[来源：GB/T 40577—2021，12.9，有修改]

3.2

Modbus RTU

基于串行链路的Modbus远程终端单元协议，采用二进制编码方式，是工业现场最常用的低速可靠通信协议。

3.3

Modbus TCP

基于TCP/IP协议的Modbus工业以太网协议，采用客户端-服务器架构，适用于中速设备通信。

3.4

EtherCAT

实时工业以太网协议，采用分布式时钟技术，支持微秒级同步精度，是高端半导体设备主流通信协议。

3.5

对象字典 Object Dictionary

EtherCAT 协议中描述设备所有数据对象的结构化集合，包含数据类型、访问权限、语义说明等信息。

3.6

过程数据对象 PDO

EtherCAT 协议中用于传输实时过程数据的通信对象，支持周期性无确认传输。

3.7

服务数据对象 SDO

EtherCAT 协议中用于传输非实时配置数据的通信对象，支持带确认的读写操作。

3.8

SECS-III

半导体行业专用设备通信协议，定义了设备与上位系统之间的消息内容与交互语义。

3.9

设备层数据通信

Chiller本体内部数据采集、处理、协议转换及对外数据交互的全过程。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

Chiller：半导体制造用温控设备（Temperature Control Chiller）

Modbus：Modicon通信协议（Modicon Communication Protocol）

RTU：远程终端单元（Remote Terminal Unit）

TCP/IP：传输控制协议 / 网际协议（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）

EtherCAT：以太网控制自动化技术（Ethernet for Control Automation Technology）

PDO：过程数据对象（Process Data Object）

SDO：服务数据对象（Service Data Object）

CoE：EtherCAT 上的 CAN 应用协议（CAN application protocol over EtherCAT）

SECS：半导体设备通信标准（Semiconductor Equipment Communication Standard）

HSMS：高速 SECS 消息服务（High-Speed SECS Message Services）

GEM：制造设备通信与控制通用模型（Generic Equipment Model）

EAP：设备自动化系统（Equipment Automation Program）

MES：制造执行系统（Manufacturing Execution System）

CIM：计算机集成制造（Computer Integrated Manufacturing）

TLS：传输层安全协议（Transport Layer Security）

5 总体架构与设备层通信模型

5.1 通信体系总体架构

通信体系总体架构可包括：

- a) 设备层：Chiller 本体，包含数据采集单元、控制执行单元、多协议适配单元、安全防护单元、日志管理单元，是通信数据的产生端与指令执行端，本文件所有强制要求均针对设备层制定。

- b) 网络传输层：负责设备与上层系统之间的网络连接、数据传输、链路管理，兼容串行总线、工业以太网、半导体工厂专用网络架构。
- c) 应用层：包含半导体工厂 EAP、MES、CIM、设备运维管理平台等上位系统，是通信数据的消费端与控制指令的发起端。

5.2 设备层核心通信功能模型

Chiller 设备内部通信核心功能模块可包括：

- a) 多通道数据采集模块：负责各独立温控通道的温度、压力、流量、液位、电阻率等模拟量采集，以及压缩机、泵阀、加热器等数字量状态采集，支持最高 1Hz 的采样频率。
- b) 多协议适配模块：实现至少一种基础强制协议（Modbus RTU/TCP）的解析与封装，可选支持 EtherCAT、SECS-II/GEM 协议，确保不同协议下同一数据项的语义一致性。
- c) 指令处理与安全校验模块：负责上位控制指令的接收、解析、权限校验、执行与结果反馈，强制实现应急停机指令的最高优先级处理。
- d) 告警与事件管理模块：负责设备告警、故障、状态变更事件的触发、分级、存储与主动上报，支持按通道独立告警。
- e) 数据预处理与缓存模块：负责原始数据的滤波、单位转换、量程换算，缓存至少 72 小时的历史运行数据与告警数据。
- f) 安全防护模块：实现身份认证、权限管控、非法报文过滤、通信异常处理等安全功能。
- g) 日志管理模块：负责指令操作、异常事件的日志存储，日志保存时长不少于 6 个月。

5.3 多协议产线系统对接模型

规范不同协议Chiller与半导体产线系统的标准对接方式：

- a) Modbus RTU/TCP 设备：直接对接 EAP 系统或设备本地控制器，适用于产线与单机设备集成。
- b) EtherCAT 设备：对接产线主控制器或 EtherCAT 主站，适用于产线与多设备同步控制场景。
- c) SECS-II/GEM 设备：对接 CIM/MES 系统，适用于 12 英寸晶圆厂全自动化产线。
- d) 协议转换要求：支持通过标准网关实现不同协议设备之间的互联互通，网关应保留本文件定义的通用数据语义。

6 通信接口与多协议规范

6.1 通信接口通用要求

规定所有Chiller设备通信接口的硬件、电气、环境适应性通用要求：

- a) 强制要求：至少提供 1 路标准通信接口，接口标识清晰，支持热插拔（以太网接口）。
- b) 冗余设计：高端设备可选提供双网口冗余或双协议接口冗余。
- c) 环境适应性：接口防护等级不低于 IP20，适应半导体洁净车间温度（10℃~30℃）、湿度（30%~70% RH）环境。
- d) 抗干扰要求：符合 GB/T 17626 工业电磁兼容性标准，避免产线电磁干扰影响通信稳定性。

6.2 基础强制协议

6.2.1 Modbus RTU (RS485) 规范

- a) 物理层：9 针 D-sub Female 连接器，其余引脚保留。
- b) 数据链路层：RTU 模式，8 位数据位，1 位停止位，无校验；波特率默认 9600bps，可选 19200、38400bps；从站地址范围 1~31。
- c) 应用层：强制支持功能码 03（读保持寄存器）、06（写单个寄存器）、16（写多个寄存器）；寄存器地址采用 16 位无符号整数，数据格式统一为大端模式。
- d) CRC 校验：采用标准 Modbus CRC16 校验算法，校验值低字节在前、高字节在后。

6.3 主流推荐协议：EtherCAT

Chiller设备宜支持本协议，本部分应遵循ETG. 5003. 3000的要求：

T/CEATEC XXX—XXXX

- a) 物理层：2 路 RJ45 以太网接口，标识为“ECAT IN”和“ECAT OUT”，支持菊花链拓扑。
- b) 数据链路层：遵循 ETG. 1000 系列标准，强制支持分布式时钟（DC）同步，同步精度优于 1 μs。
- c) 应用层：强制支持 CoE 协议，对象字典结构与 ETG. 5003. 3000 保持一致，模块编号 nn=00~254 对应 Chiller 的 1~255 个独立温控通道。
- d) 过程数据：强制支持每个通道 1 个 RxPDO（接收控制指令）和 1 个 TxPDO（发送状态数据）。
- e) 邮箱服务：最小邮箱大小 128 字节，最小 CoE 响应时间≤100ms。

6.4 专用可选协议：SECS-II/GEM/HSMS

适用于12英寸晶圆厂Chiller设备，保留原标准核心内容，明确为可选协议：

- a) 传输层：遵循 SEMI E37 HSMS 规范，默认端口号 5000。
- b) 应用层：遵循 SEMI E5 SECS-II 和 SEMI E30 GEM 规范，实现设备状态管理、数据采集、告警上报、远程控制核心功能。
- c) 扩展规则：厂商自定义消息应在 S2F/F2、S10F/F10 范围内，不得占用标准消息功能码。

6.5 协议扩展规则

- a) 厂商可在本标准基础上扩展私有数据项与功能，但不得修改强制数据项的语义与格式。
- b) 私有扩展应在设备手册中明确说明，且不得影响强制协议功能的正常运行。

7 通用数据字典与多协议映射

7.1 数据字典通用要求

- a) 数据项命名采用“对象_属性”格式，如“CH1_Temp_SV”（通道1温度设定值）。
- b) 数据类型统一为：布尔型（BOOL）、16 位整数（INT16/UINT16）、32 位浮点数（REAL32）、32 位无符号整数（UINT32）。
- c) 单位统一采用国际单位制，温度单位默认℃，流量单位默认 L/min，压力单位默认 MPa。
- d) 强制数据项：所有设备应实现，不得缺失或修改语义。
- e) 可选数据项：根据产品功能选择性实现，实现时应遵循本标准定义的格式。

7.2 通用数据分类与核心数据项

通用数据分类与核心数据项应符合表1的要求。

表 1 通用数据分类与核心数据项

数据类别	核心数据项	读写属性	强制 / 可选	数据类型	单位	说明
设备基础信息	设备型号、序列号、厂商 ID、固件版本	只读	强制	字符串	—	设备全局信息，单实例
通道运行状态	运行状态、远程 / 本地模式、压缩机状态、泵状态	只读	强制	BOOL	—	每个通道独立
温控核心参数	设定温度（SV）、供水温度（PV）、回水温度（PV）、流量（PV）、供水压力（PV）、液位（PV）、电阻率（PV）	读写 / 只读	强制	REAL32	℃ /L/min/MPa/ MΩ·cm	每个通道独立
远程控制指令	启停控制、温度设定、告警复位、应急停机	只写	强制	BOOL/REAL32	—	每个通道独立
告警与故障	总告警、温度过高 / 过低告警、流量过低告警、液位过低告警、传感器故障、压缩机故障	只读	强制	UINT16	—	位域表示，每个通道独立
配置参数	温度单位、流量单位、压力单位、告警阈值	读写	强制	UINT8/REAL32	—	每个通道独立

数据类别	核心数据项	读写属性	强制 / 可选	数据类型	单位	说明
能耗与能效	实时功率、累计耗电量、制冷量	只读	可选	REAL32	W/kWh/kW	设备全局
运维与健康	压缩机运行时长、泵运行时长、维护周期	只读	可选	UINT32	h	每个通道独立

7.3 多协议数据映射规则

- 应确保同一数据项在不同协议中的语义与精度完全一致：
- a) Modbus 映射规则：强制数据项 16 位整数采用 “实际值 ×10” 的编码方式（如 25.0℃ 编码为 250），32 位浮点数采用 IEEE 754 标准，占用 2 个连续寄存器。
 - b) EtherCAT 映射规则：强制数据项的对象字典索引与 ETG. 5003. 3000 保持一致，如通道 n 的供水温度对应索引 0x6nn1:01，温度设定值对应索引 0x7nn2:01。
 - c) SECS-II 映射规则：强制数据项映射为 SECS-II 格式 1（二进制）或格式 4（浮点数），变量名与通用数据字典保持一致。

8 设备层通信交互流程

8.1 通用交互流程

8.1.1 通信连接管理

- a) 设备上电后自动进入通信就绪状态，等待上位系统连接。
- b) 通信异常断开后，设备应在 5s 内自动尝试重连，重连失败次数超过 3 次后触发通信告警。
- c) 正常断开连接时，设备应保持当前运行状态，不得随意停机。

8.1.2 数据采集流程

- a) 周期上报：强制数据项的上报周期可配置，默认 1s。
- b) 按需读取：上位系统可随时读取任意数据项，设备响应时间≤200ms。
- c) 数据缓存：设备应缓存至少 72 小时的历史数据，支持上位系统批量读取。

8.1.3 远程控制指令流程

- a) 指令下发：上位系统发送控制指令，设备应先进行权限校验与参数合法性校验。
- b) 指令执行：校验通过后执行指令，执行完成后向上位系统反馈执行结果。
- c) 异常处理：校验失败或执行失败时，设备应返回明确的错误代码，不得执行非法指令。
- d) 应急停机：应急停机指令具有最高优先级，设备收到后应在 100ms 内执行停机操作。

8.1.4 告警与故障交互流程

- a) 告警分级：分为警告（不影响运行）、故障（影响运行）、紧急故障（需立即停机）三级。
- b) 主动上报：告警触发后，设备应在 1 秒内主动向上位系统上报告警信息。
- c) 告警确认：上位系统确认告警后，设备清除告警状态；故障未排除前，不得清除故障状态。

8.1.5 设备状态机管理

- 所有协议设备应实现以下5种核心状态，状态迁移规则统一：
- a) 离线：设备未上电或通信未连接。
 - b) 待机：通信已连接，设备未运行。
 - c) 运行：设备正常运行，温控系统工作。
 - d) 故障：设备发生故障，部分或全部功能停止。
 - e) 维护：设备处于维护模式，禁止远程控制。

8.2 协议特定交互流程

8.2.1 Modbus 特定流程

- a) 寄存器读写：遵循 Modbus 标准读写流程，单次读写寄存器数量不超过 125 个。
- b) 异常响应：设备收到非法指令时，返回标准 Modbus 异常码（01~04）。

8.2.2 EtherCAT 特定流程

- a) 状态机转换：遵循 EtherCAT 标准状态机（Init→Pre-op→Safe-op→Op），Op 状态下才能进行过程数据通信。
- b) PDO 通信：周期过程数据传输与分布式时钟同步，同步偏差不超过 1 μs。

8.2.3 SECS-II 特定流程

- a) 消息交互：遵循 SECS-II 请求 / 响应模式，超时时间默认 10 秒。
- b) GEM 状态管理：遵循 SEMI E30 定义的设备状态模型，与通用状态机一一映射。

9 通信安全规范

9.1 安全总体要求

遵循 GB/T 22239 网络安全等级保护 2.0 三级要求，针对设备层通信实现全流程安全防护，防止非法控制与数据篡改。

9.2 身份认证与访问控制

- a) 强制实现三级访问权限：只读级（只能读取数据）、控制级（可发送控制指令）、运维级（可修改配置参数）。
- b) Modbus 协议：通过从站地址与访问控制列表实现身份认证。
- c) EtherCAT 协议：通过邮箱密码认证实现身份验证。
- d) SECS-II 协议：通过 TLS 双向认证实现身份验证。

9.3 数据传输安全

- a) 控制类指令与配置参数应进行完整性校验，防止数据篡改。
- b) 敏感数据（如工艺参数）应加密传输，Modbus 采用 AES-128 加密，EtherCAT 采用安全扩展协议，SECS-II 采用 TLS 1.2 及以上加密。

9.4 异常安全防护

- a) 强制实现非法报文过滤功能，丢弃格式错误、地址越界、权限不足的报文。
- b) 通信超时或异常时，设备应进入安全状态，保持当前运行参数，不得随意停机或误动作。
- c) 拒绝服务攻击防护：限制单位时间内的连接请求次数，防止设备被攻击瘫痪。

9.5 安全审计与日志

记录指令操作、异常访问、告警事件，日志内容包括时间、操作类型、操作源、操作结果。日志不可篡改，保存时长不少于 6 个月，支持导出与查询。

10 设备互操作性要求

10.1 协议互操作性分级

- a) 基础级（强制）：支持 Modbus RTU/TCP 协议，实现所有强制数据项与通用交互流程。
- b) 进阶级（推荐）：在基础级基础上支持 EtherCAT 协议，实现 ETG.5003.3000 标准功能。
- c) 专业级（可选）：在进阶级基础上支持 SECS-II/GEM 协议，实现半导体工厂全自动化集成。

10.2 数据语义互操作性

所有设备应严格遵循本标准定义的通用数据字典，同一数据项的语义、单位、精度、取值范围应完全一致。

厂商扩展数据项应明确标注，不得与通用数据项冲突。

10.3 产线系统集成兼容性

Modbus 设备应兼容主流 PLC 与 EAP 系统。
 EtherCAT 设备应兼容主流 EtherCAT 主站。
 SECS-II 设备应兼容主流半导体 CIM/MES 系统。

10.4 版本兼容性

标准版本升级时，应保持向下兼容，原有强制功能不得删除或修改。
 设备固件升级时，应保持通信协议的向后兼容性，不得影响现有产线的正常运行。

11 符合性测试与验证方法

11.1 测试环境

- 硬件环境：标准测试平台、Modbus 主站模拟器、EtherCAT 主站模拟器、SECS-II 主站模拟器、示波器、网络分析仪。
- 软件环境：符合性测试软件、协议分析软件、日志分析软件。
- 网络环境：工业以太网环境，带宽 $\geq 100\text{Mbps}$ ，延迟 $\leq 1\text{ms}$ 。

11.2 测试项目与测试方法

11.2.1 通用测试项目

- 接口与硬件测试：通信接口电气特性、环境适应性、抗干扰能力测试。
- 设备层功能测试：数据采集精度、指令执行正确性、告警上报及时性、状态机转换正确性测试。
- 数据字典符合性测试：强制数据项完整性、语义一致性、格式合规性测试。
- 通用交互流程测试：连接管理、数据采集、指令控制、告警处理流程测试。
- 通信安全测试：身份认证、权限管控、非法报文过滤、异常处理测试。
- 可靠性测试：72 小时连续通信稳定性测试、1000 次指令执行成功率测试。

11.2.2 协议一致性测试

- Modbus 协议一致性测试：遵循 GB/T 19582.3 标准，测试功能码实现、报文格式、CRC 校验正确性。
- EtherCAT 协议一致性测试：遵循 ETG.5003.3000 标准，测试对象字典、PDO 映射、状态机、同步精度。
- SECS-II 协议一致性测试：遵循 SEMI E5/E30/E37 标准，测试消息格式、GEM 功能、HSMS 通信。

11.2.3 互操作性测试

与主流上位系统的对接测试：验证设备与不同厂商 EAP、MES、PLC 的互联互通能力。
 多厂商设备兼容性测试：验证不同参编单位设备在同一产线环境下的协同工作能力。

11.3 测试判定规则

- 合格判定：所有强制测试项目全部通过，可选测试项目通过率 $\geq 80\%$ 。
- 单项否决项：应急停机功能失效、数据语义错误、控制指令执行错误、通信安全存在重大漏洞。
- 不合格项处理：对不合格项进行整改后重新测试，直至全部通过。

11.4 测试报告规范

规定符合性测试报告的内容结构，包括测试环境、测试项目、测试结果、不合格项分析、整改建议等。