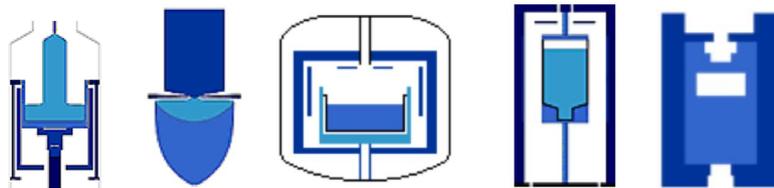


全球领先的材料晶体生长 多物理场仿真分析软件 FEMAG 介绍



目录

一、FEMAG 软件概况.....	- 1 -
二、FEMAG 软件产品.....	- 2 -
2.1 FEMAG/CZ 软件.....	- 3 -
2.2 FEMAG/CZ/OX 软件.....	- 7 -
2.3 FEMAG/FZ 软件.....	- 9 -
2.4 FEMAG/DS 软件.....	- 10 -
2.5 FEMAG/VB 软件.....	- 13 -
2.6 FEMAG/HEM 软件.....	- 14 -
2.7 FEMAG/PVT 软件.....	- 15 -
三、FEMAG 软件的主要技术优势.....	- 17 -
3.1 模型先进、算法高效，求解精度高.....	- 17 -
3.2 炉体设计技术成熟，优化生长过程高效、方便.....	- 17 -
3.3 功能全面，独具区熔法生长工艺仿真分析功能.....	- 18 -
3.4 中国本土化技术服务便捷、到位.....	- 18 -
四、关于 FEMAG 公司.....	- 18 -
五、FEMAG 公司的主要合作伙伴.....	- 19 -
六、关于中仿科技（CnTech）公司.....	- 20 -

一、FEMAG 软件概况

随着社会的发展和人类科技的进步，人工晶体材料在半导体、集成电路、太阳能光伏、LED、航空发动机涡轮叶片制造等领域中得到了广泛的应用。这些社会应用需求驱动了晶体生长科学与技术的迅速发展，人们借助先进的技术手段可制备各种优质的多功能晶体。此外，随着计算机软硬件技术的发展，利用高效的 CAE 数值模拟技术进行虚拟预测、优化晶体生长工艺，已成为提高产品质量与研发效率、降低研发成本的有效途径。

FEMAG 软件是全球首款商业的晶体生长数值模拟软件，由比利时新鲁汶大学教授 Dr. François Dupret 于 20 世纪 80 年代中期领导开发。Dr. Dupret 是第二届晶体生长模型国际研讨会主席、EUROTHERM 相变热力学研讨会联合主席，曾任国际晶体生长（*Journal of Crystal Growth*）期刊主编。作为 FEMAG 公司创始人和首席科学家，Dr. Dupret 主持开发的 FEMAG 软件拥有国际上最先进、最高效、最全面的晶体生长工艺模拟技术和多物理场耦合仿真分析功能，可模拟各种晶体生长工艺，包括提拉法（Cz）、泡生法（Ky）、区熔法（FZ）、垂直布里奇曼法（VB）、垂直梯度凝固法（VGF）、定向凝固法（DS）、热交换法（HEM）以及物理气相传输法（PVT）等。FEMAG 软件在集成电路、太阳能光伏、半导体芯片、蓝宝石、单晶高温合金等领域具有广泛的应用。ON Semiconductor（安森美半导体）、美国 Kayex、Siltronic（世创电子材料）、AXT（美国晶体技术集团）、韩国 Nexolon、LG、韩国汉阳大学、Norut（挪威北方研究所）、日本 SUMCO 集团、Gritek（有研新材料）、天津环欧半导体材料、中环股份、北京有色金属研究总院、清华大学、上海大学等企业和科研机构，均是 FEMAG 软件的客户。

目前，FEMAG 软件包括下列产品：

- FEMAG/CZ——FEMAG 提拉法晶体生长模拟软件
- FEMAG/CZ/OX——FEMAG 化合物提拉/泡生法晶体生长模拟软件
- FEMAG/FZ——FEMAG 区熔法晶体生长模拟软件
- FEMAG/DS——FEMAG 定向凝固法生长模拟软件
- FEMAG/VB——FEMAG VB/VGF 法晶体生长模拟软件
- FEMAG/HEM——FEMAG 热交换法晶体生长模拟软件
- FEMAG/PVT——FEMAG 物理气相传输法晶体生长模拟软件

经过三十多年的开发与完善，FEMAG 软件以其深厚的晶体生长理论基础、高效稳健的数值算法，业已在晶体生长数值计算领域处于国际领先地位。FEMAG 软件可以高效地模拟晶体生长工艺以及预

测晶体生长的质量，有力地促进了晶体生长技术相关的生产与研发工作。FEMAG 软件已在以下领域中得到了广泛的应用：

- 光学级单晶锗的生长
- 晶体生长熔炉的设计
- YAG 功能晶体的生长
- GaAs、CdTe 晶体的生长
- 半导体、集成电路级单晶硅的生长
- 第三代半导体材料 SiC 晶体的生长
- 太阳能光伏单晶硅、多晶硅锭的生长
- 航空发动机涡轮叶片单晶高温合金的生长
- 氧化物（蓝宝石）、卤化物等 LED 光电晶体的生长

二、FEMAG 软件产品

FEMAG 软件致力于多物理场仿真分析晶体材料的生长过程，为用户提供晶体生长运输过程中的重要信息以及影响晶体质量的工艺信息，改善晶体的质量与提高用户的研发效率。目前，FEMAG 软件产品有：FEMAG/CZ、FEMAG/CZ/OX、FEMAG/FZ、FEMAG/DS、FEMAG/VB、FEMAG/HEM 以及 FEMAG/PVT。FEMAG 软件产品及其典型的应用如图 2.1 所示。

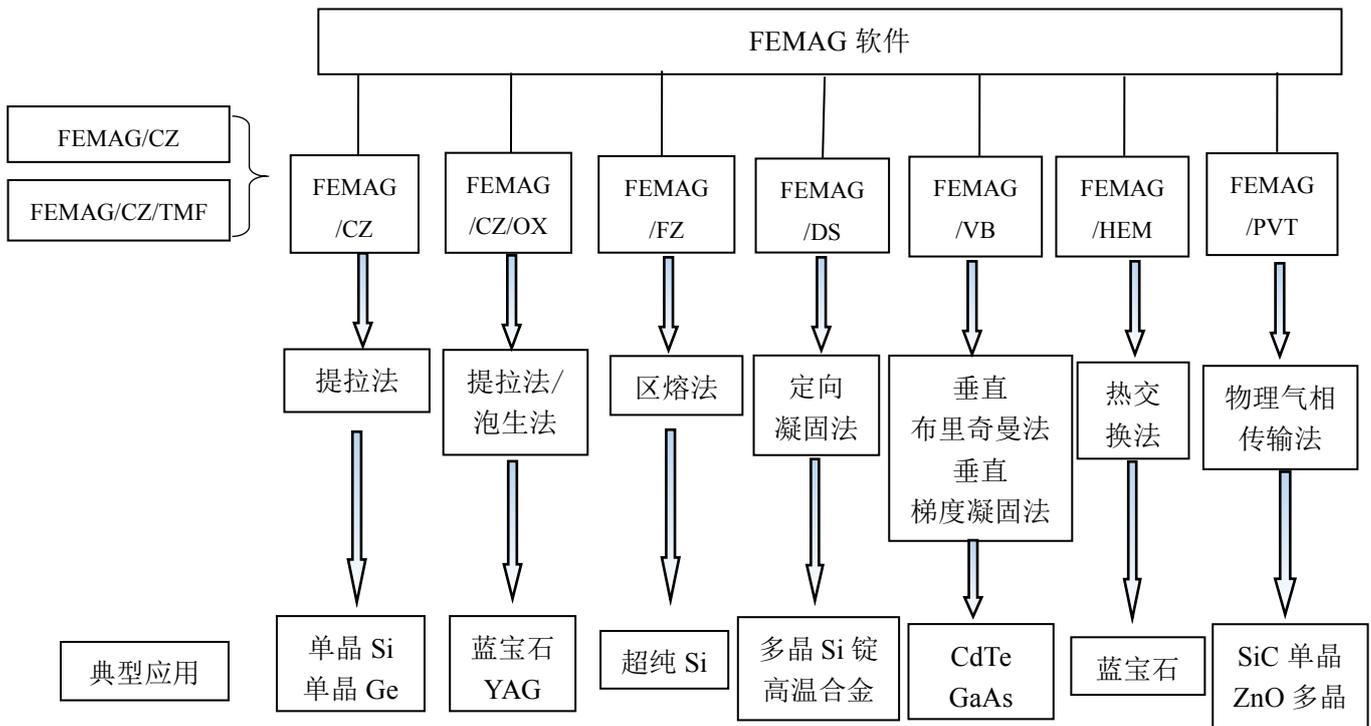


图 2.1 FEMAG 软件产品及其典型应用

2.1 FEMAG/CZ 软件

提拉法（Czochralski 法，Cz 法，亦称为直拉法、柴氏法）是从熔体中生长单晶的主要工艺。其原理是将原料放在坩埚中加热熔化，在适当的温度下，将籽晶浸入液面，让熔体先在籽晶的末端生长，然后边旋转边缓慢向上提拉籽晶，晶体即从籽晶末端开始逐渐长大。

FEMAG/CZ 是 FEMAG 专门用于模拟提拉法（Cz）晶体生长工艺的软件。该软件可对整个提拉生长过程，包括引晶、缩颈、转肩、等径生长、收尾等各个生长阶段所涉及的物理问题进行模拟分析。FEMAG/CZ 广泛用于半导体/太阳能光伏单晶硅、单晶锗以及小尺寸蓝宝石等晶体生长的仿真应用。

FEMAG/CZ 软件包括 FEMAG/CZ 基本模块与 FEMAG/CZ/TMF 三维磁场附加模块。后者可用于复杂磁场作用下的多场耦合晶体生长三维分析。

2.1.1 FEMAG/CZ 软件的主要功能及特色

基于提拉晶体生长工艺的 FEMAG/CZ 软件具有以下主要功能及特色：

- 炉体全局热场分析
- 固液界面形状与位置计算
- 固液界面温度梯度计算
- 考虑时间参量的动态分析
- 熔体、气体对流计算
- 辐射传热计算
- 加热器功率预测
- 氧/碳含量预测
- 各向异性热应力计算
- 点缺陷浓度分析
- 连续提拉生长模拟
- 考虑磁场的三维多场计算

图 2.2 和图 2.3 分别是单晶硅提拉生长熔炉炉体全局热场以及炉体内的流场、温度分布。利用 FEMAG/CZ 软件逆向动态模型可以全局模拟生长熔炉内的热传导、辐射、熔体对流以及炉体内气体流动等热量与动量传递过程，确定热场的分布以及分析晶体生长时的全局传热、流动特性。

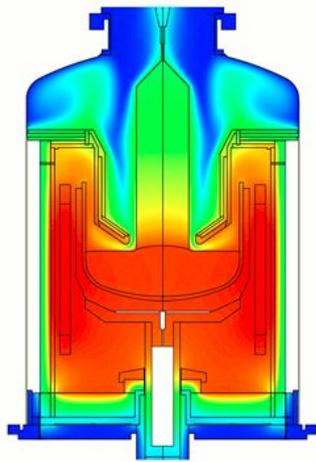


图 2.2 炉体全局热场

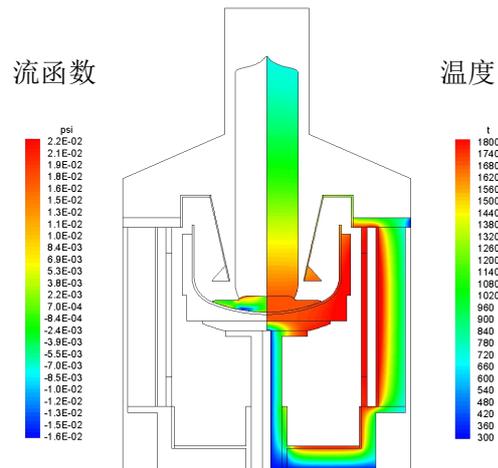
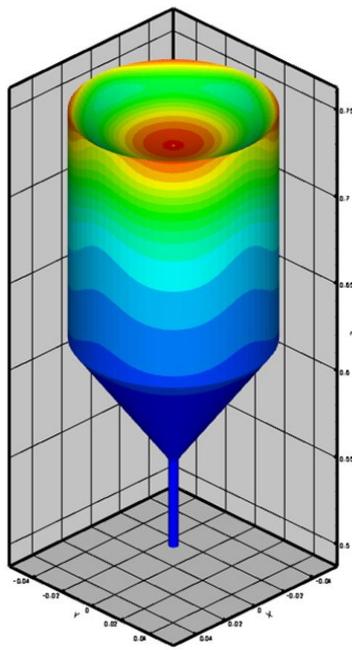
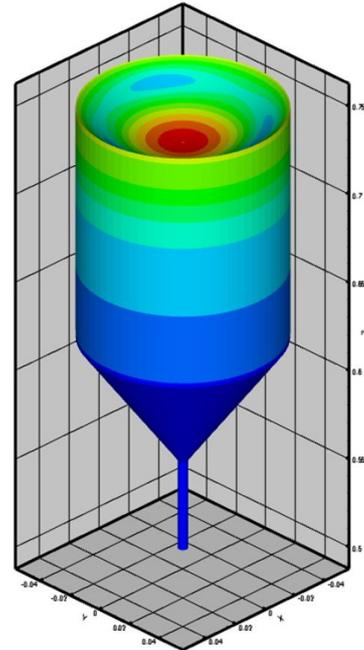


图 2.3 炉体内流函数、温度分布

利用 FEMAG/CZ 软件可以计算晶体内的各向异性热应力。图 2.4 (a)、(b) 分别是不同晶体生长方位上的热应力分布。晶体生长方位不同，热应力的分布呈现明显的各向异性。



(a) $\langle 1,0,0 \rangle$ 生长方位的热应力



(b) $\langle 1,1,1 \rangle$ 生长方位的热应力

图 2.4 不同晶体生长方位的热应力分布

利用 FEMAG/CZ 软件的与时间相关的动态仿真功能，可以将发生在晶体生长、冷却过程中所有瞬时的影响因素都考虑在内，这对于准确预报晶体缺陷具有重要的意义。图 2.5 是利用 FEMAG/CZ 软件全局动态模型预测晶体生长中的热场温度以及缺陷浓度 ($C_i - C_v$) 分布。

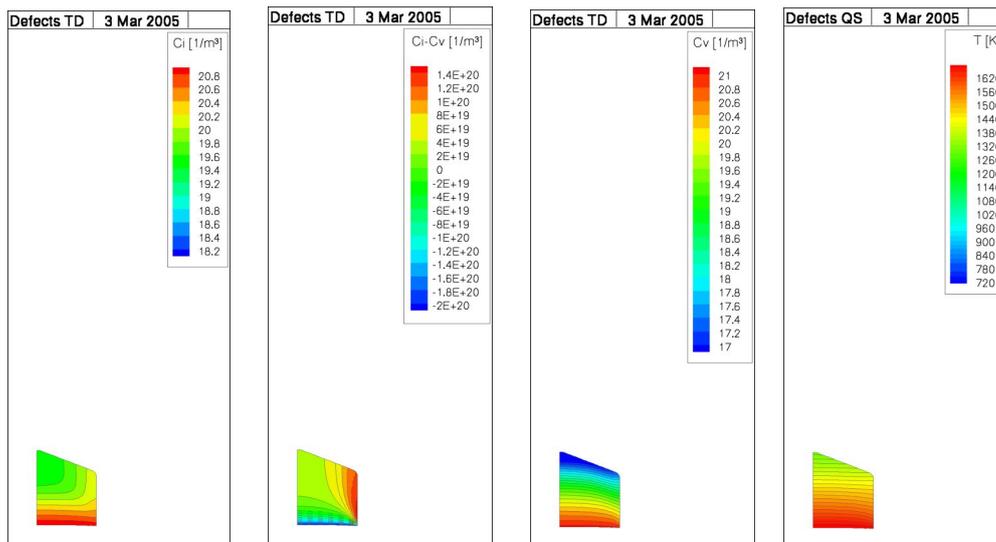


图 2.5 全局动态预测热场温度与缺陷浓度

FEMAG/CZ/TMF 是 FEMAG/CZ 软件的附加模块。该模块可以有效分析横向磁场（TMF）作用下的晶体生长三维多物理场问题。依据磁场作用的方位，TMF 包括以下三种磁场（如图 2.6 所示）：

- 水平磁场（HMF）
- 卵形磁场（OvMF）
- 倾斜磁场（SMF）

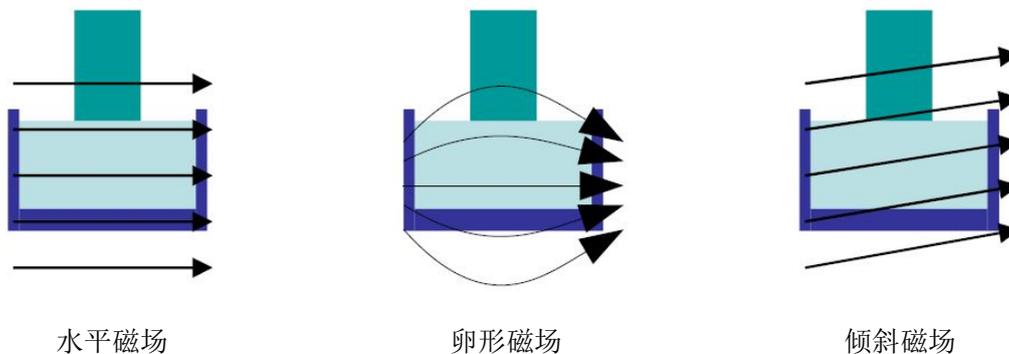


图 2.6 磁场

FEMAG/CZ/TMF 模块具有以下功能：

- 分析磁场对熔体流动、温度以及组分的影响
- 分析磁场作用下固液界面的变形
- 计算磁场作用下晶体生长过程中的温度梯度以及氧化物分布
- 可求解高强磁场（可达到工业实际应用中的 500mT）问题

图 2.7 是横向磁场作用下的 3D 单晶硅提拉生长全局传热与流动模型。

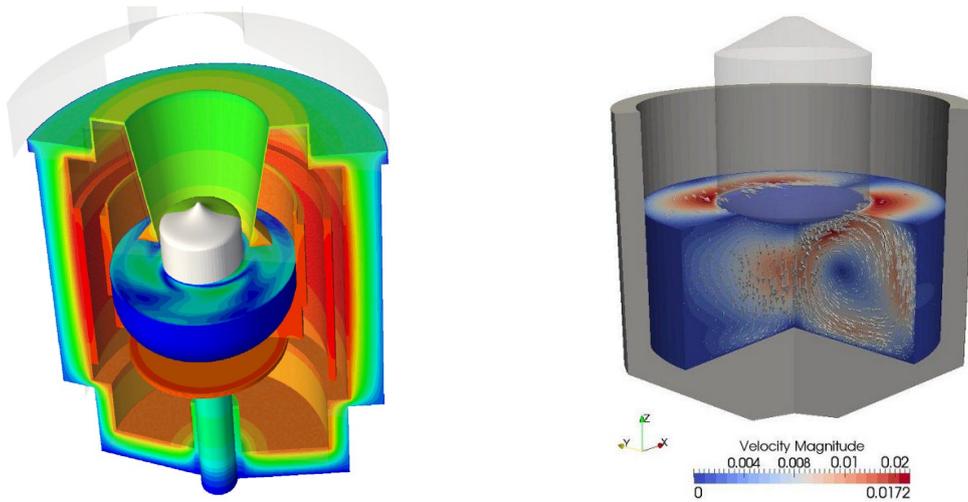


图 2.7 考虑横向磁场效应的 3D 单晶硅提拉生长全局传热与流动模型

当生长系统中存在磁场时，粘性与磁场的相互作用将促使很薄的边界层沿坩埚、晶体产生。在考虑 TMF 情况下，沿着熔体-晶体（固液）界面、熔体-坩埚界面处存在两种 MHD（磁流体力学，MagnetoHydroDynamics）边界层：Hartmann 边界层（HBL）与 Parallel 边界层（PBL）。HBL 比 PBL 的厚度要小很多。

图 2.8 是直径为 300mm 的单晶硅在 0.5T TMF 作用下的速度场分布及其流线形状。

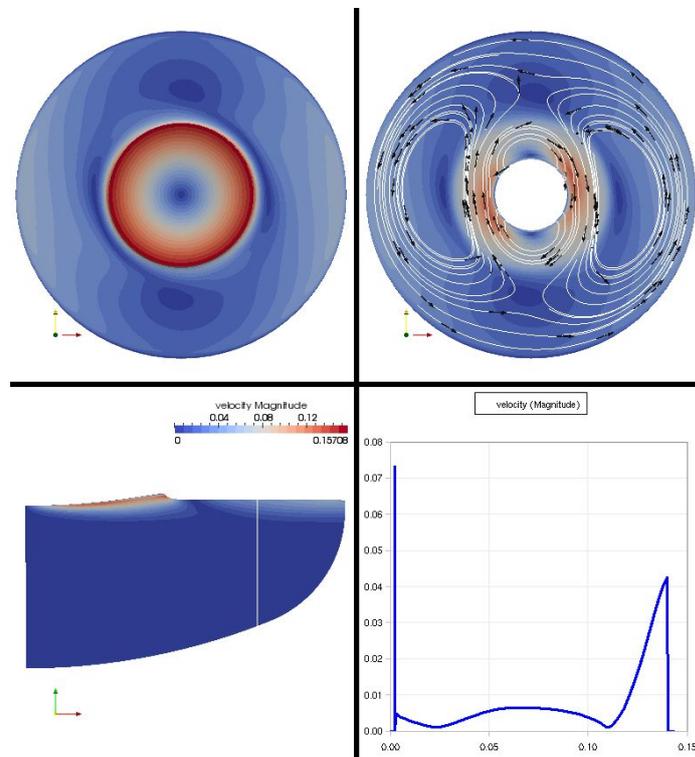


图 2.8 直径为 300mm 的单晶硅在 0.5T TMF 下的速度场、流线分布

（上图：速度分布、流线；下图：熔体-坩埚界面处的速度场与横截面上的速度曲线，界面处有显著的 Hartmann 层）

2.1.2 FEMAG/CZ 软件的典型应用

FEMAG/CZ 软件的典型应用是半导体/太阳能光伏用单晶硅 Cz 法生长工艺过程的模拟。以半导体单晶硅 Cz 法生长工艺模拟为例（图 2.9 是单晶硅片生产制备过程的示意图），单晶硅原材料在生长炉内加热熔融，利用提拉晶体生长方法制备得到单晶硅锭，然后切割出单晶硅片。单晶硅片半导体材料广泛用于集成电路上。在单晶硅生长制备中，利用 FEMAG/CZ 软件可对其整个生长过程进行热场分析、工艺参数优化，以改善单晶硅的生长质量与提高用户的研发效率，降低其研发的周期与成本。

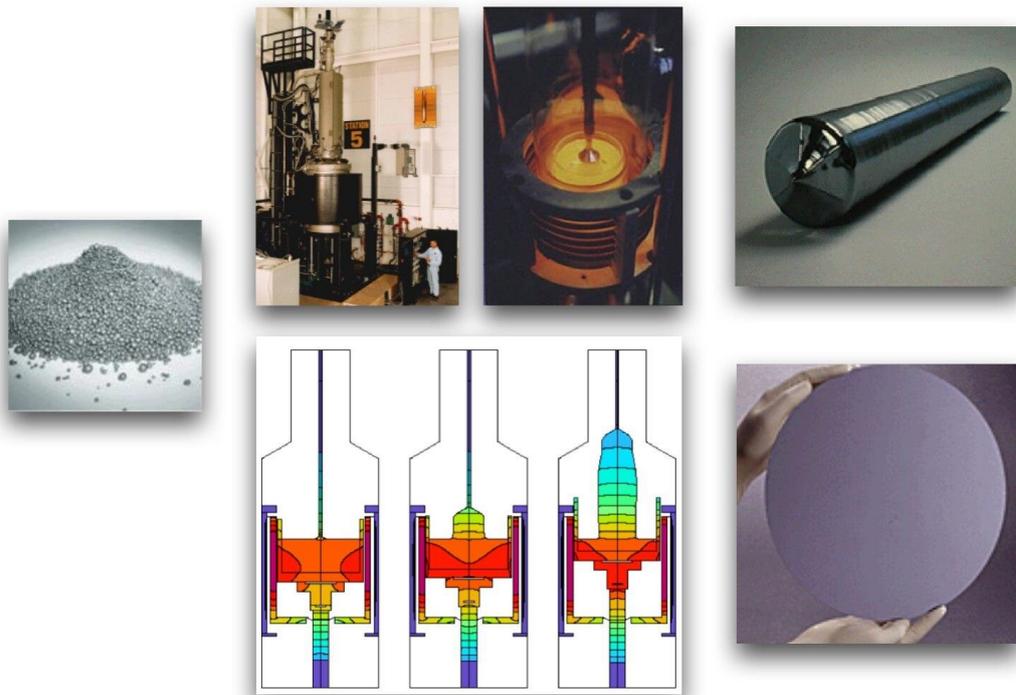


图 2.9 半导体单晶硅片生产制备过程

2.2 FEMAG/CZ/OX 软件

FEMAG/CZ/OX 是 FEMAG 专门用于模拟化合物晶体的提拉法与泡生法生长工艺的软件。该软件可以分析卤化物/氧化物闪烁性晶体与大尺寸蓝宝石晶体的生长过程，在 LED 光电技术、高能物理、医学成像等领域具有广泛的应用。

2.2.1 FEMAG/CZ/OX 软件的主要功能及特色

FEMAG/CZ/OX 软件具有以下主要功能及特色：

- 化合物晶体提拉生长模拟
- 蓝宝石泡生法生长模拟
- 固液界面形状计算
- 熔体全局热场计算

- 熔体、气体对流计算
- 内部热辐射计算
- 各向异性热应力计算
- 电阻加热与感应加热灵活设置

2.2.2 FEMAG/CZ/OX 软件的典型应用

FEMAG/CZ/OX 软件的典型应用是模拟分析大尺寸蓝宝石晶体泡生法生长工艺过程。

蓝宝石因其特殊的物理化学性质、价格优势与晶体尺寸优势成为光电子与微电子产业中用量最大的无机氧化物晶体材料。以蓝宝石为衬底的 GaN 基蓝绿光 LED 产业的大力发展，不断推动着对蓝宝石生长技术与晶体质量的研究。

泡生法（Kyropoulos method, Ky）因容易获得适合大尺寸蓝宝石晶体生长的最佳温度梯度而成为生长蓝宝石单晶最常用的工艺方法。其原理是，将晶体原料放入耐高温的坩埚中加热熔融，调整炉内温度场，使熔体上部处于稍高于熔点状态；再将籽晶杆上的籽晶与熔体接触，使熔体顶部处于过冷状态而结晶于籽晶上。为了使晶体不断长大，需要逐渐降低熔体的温度，同时旋转晶体，以改善熔体的温度分布。也可缓慢地（或分阶段）上提晶体，以扩大散热面。

图 2.10 为利用 FEMAG/CZ/OX 软件模拟大尺寸蓝宝石晶体泡生法生长过程。

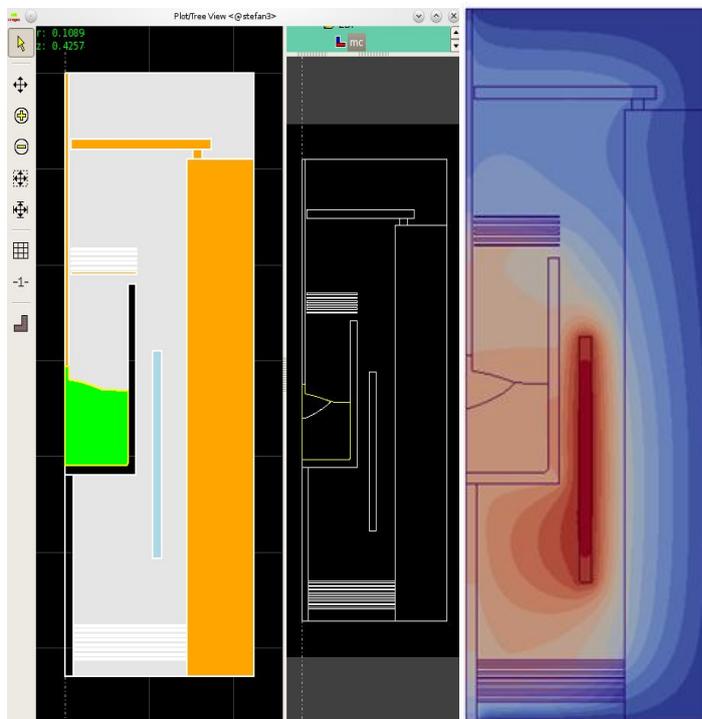


图 2.10 大尺寸蓝宝石晶体泡生法生长过程模拟

图 2.11 为泡生法生长蓝宝石晶体过程中不同熔体热导率与结晶温度对熔体温度、流函数分布的影响。其中，图 (a)、(b) 分别为不同熔体热导率与不同结晶温度下，不同的熔体温度分布；图 (c)、(d) 分别为不同熔体热导率与不同结晶温度下，不同的流函数分布。图(a)、(c)：热导率 $\lambda=10$ W/m.K，结晶温度 $T_c=2223$ K；图 (b)、(d) 热导率 $\lambda=100$ W/m.K，结晶温度 $T_c=2218$ K。从分析结果可以看出，通过改变熔体的热导率与结晶温度，可以改善熔体内的温度场以及流函数分布。

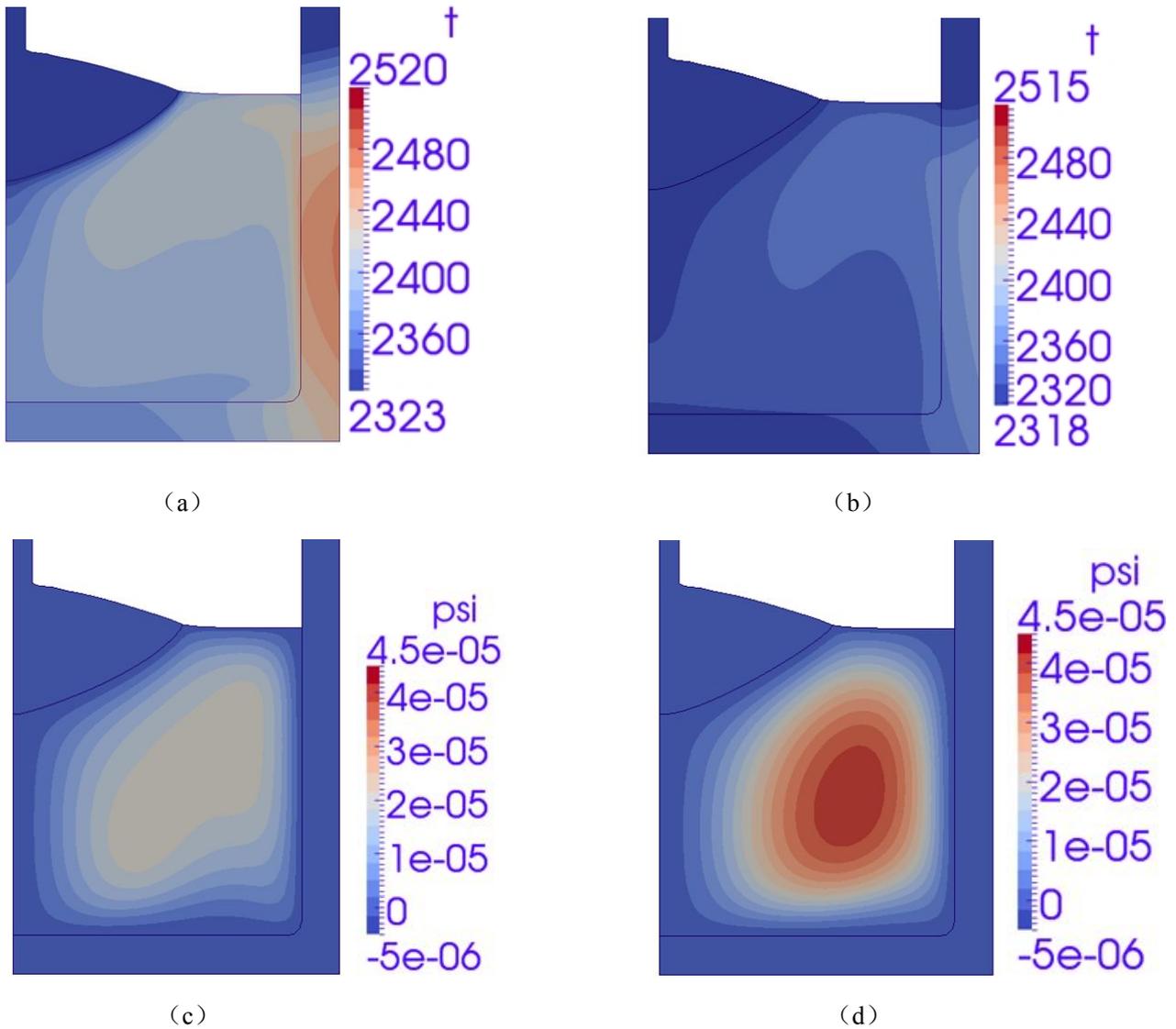


图 (a)、(b) 分别为不同熔体热导率与不同结晶温度下，不同的熔体温度分布

图 (c)、(d) 分别为不同熔体热导率与不同结晶温度下，不同的流函数分布

图 2.11 泡生法生长中不同熔体热导率与结晶温度对熔体温度、流函数分布的影响

2.3 FEMAG/FZ 软件

FEMAG/FZ 是 FEMAG 专门用于模拟区熔法 (Floating Zone process, FZ) 生长工艺的软件。该软件可对区熔法生长的超纯单晶硅工艺过程进行模拟。超纯单晶硅广泛用于大功率器件、电力汽车、

高铁等设备上。

2.3.1 FEMAG/FZ 软件的主要功能及特色

FEMAG/FZ 软件具有以下主要功能及特色：

- 区熔法工艺条件设置
- 熔区受力分析
- 熔体全局热场计算
- 准稳态与逆向动态模拟
- 感应加热器设置
- 各向异性热应力计算
- 点缺陷浓度计算
- 掺杂物组分传输计算

2.3.2 FEMAG/FZ 软件的典型应用

FEMAG/FZ 软件的典型应用是模拟超纯单晶硅区熔法生长工艺过程。图 2.12 为 100mm 超纯单晶硅区熔法生长工艺准稳态模拟结果图（提拉速率为 1mm/min），其中（a）为全局热场温度分布；（b）为熔体流动；（c）为磁场分布。

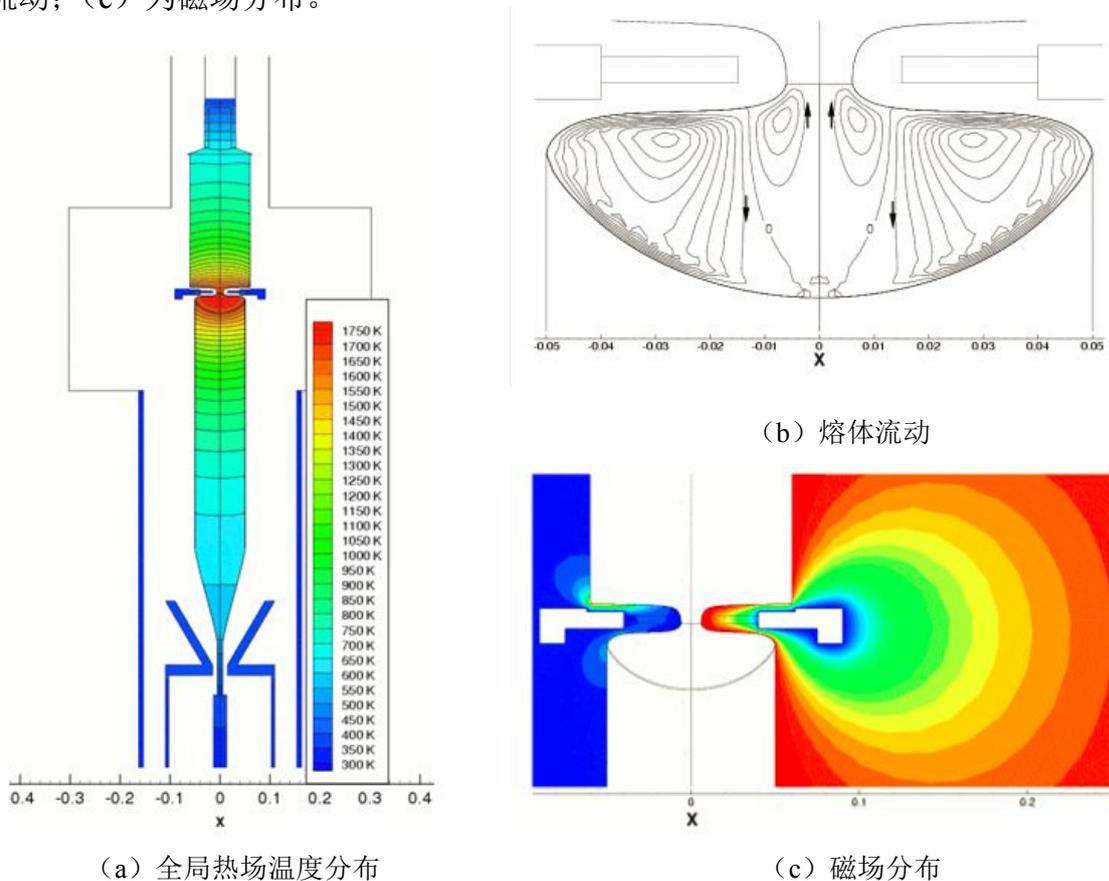


图 2.12 100mm 超纯单晶硅区熔法生长

2.4 FEMAG/DS 软件

FEMAG/DS 是 FEMAG 专门用于模拟定向凝固法（Directional Solidification, DS）晶体生长工艺的软件。该软件可用于分析多晶硅锭、单晶高温合金的定向凝固生长，在太阳能光伏、LED 以及航空发动机高温合金单晶涡轮叶片等领域具有广泛应用。

2.4.1 FEMAG/DS 软件的主要功能及特色

FEMAG/DS 软件具有以下主要功能及特色：

- 定向凝固工艺条件设置
- 熔体全局热场计算
- 固液界面形状计算
- 辐射传热计算
- 稳态/非稳态熔体对流
- Marangoni 效应分析
- 熔体中氧/碳浓度计算
- 不同冷却模式的灵活选择
- 加热器、隔热罩等熔炉组件对生长环境的影响分析
- 灵活定义加热器功率位置等参数随时间的变化关系

2.4.2 FEMAG/DS 软件的典型应用

FEMAG/DS 软件的典型应用是模拟多晶硅锭定向凝固生长工艺过程。图 2.13 为多晶硅锭及其定向凝固生长实际环境。图 2.14 为利用 FEMAG/DS 软件模拟多晶硅锭定向凝固生长不同阶段的全局非结构化网格。



图 2.13 多晶硅锭及其定向凝固生长

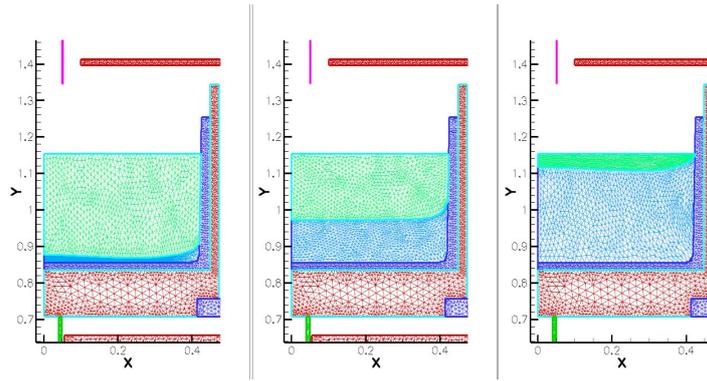


图 2.14 不同定向凝固生长阶段全局非结构化网格

FEMAG/DS 软件采用高效、快速的 FLET (Fourier Limited Expansion Technique) 方法构建模型，该方法结合了 2D 有限元法 (R-Z 面内) 与谱分析法的优点，用户只需要定义垂直面上的几何模型，而水平面上的几何信息可由谱方法自动处理生成。利用 FLET 方法可以显著降低建模成本、简化几何数据，使得网格生成和控制更容易，并在保证求解精度的前提下提高计算效率。

图 2.15 为 FEMAG/DS FLET 方法与 Cartesian 方法在求解计算时间与内存配置要求方面的比较。从图 2.15 可以看出采用 FEMAG/DS 软件进行多晶硅锭的定向凝固生长模拟时，计算效率更高效，同时该软件对计算机内存的配置要求也大幅度地降低。

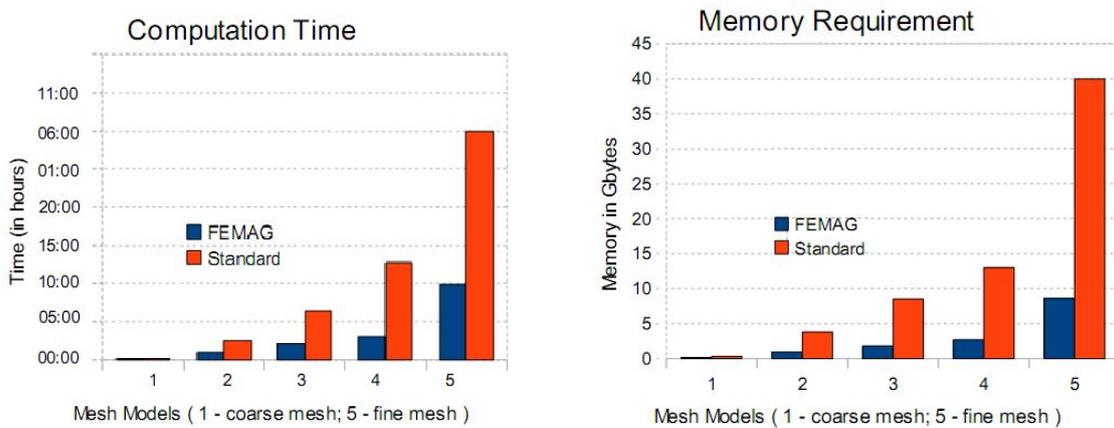


图 2.15 FEMAG/DS FLET 与 Cartesian 方法的比较

利用 FEMAG/DS 软件可以高效地计算出工艺过程中热传递、熔体对流、固液界面、碳/氧化物/杂质分布等结果。图 2.16 为利用 FEMAG/DS 软件模拟多晶硅锭定向凝固生长的流速与温度场分布。图 2.17 为多晶硅锭定向凝固生长中氧与碳的浓度分布。

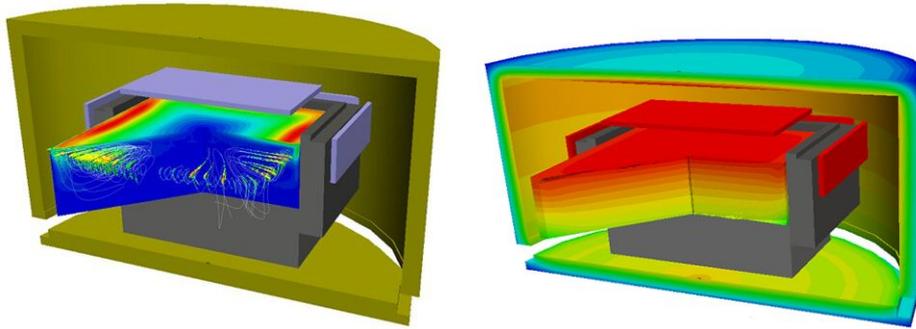


图 2.16 多晶硅锭定向凝固生长的流速与温度场分布

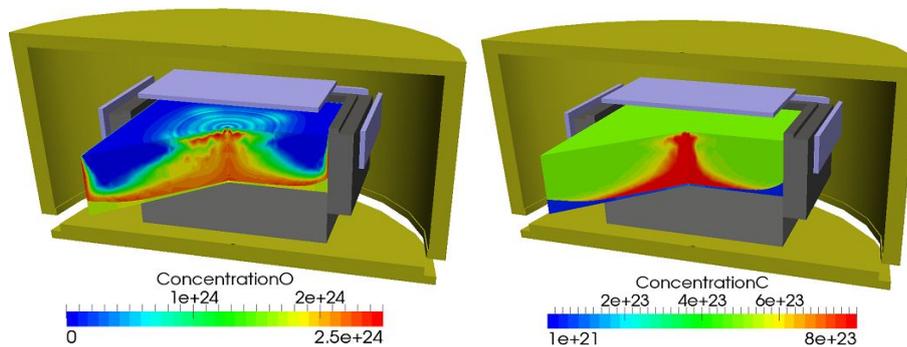


图 2.17 多晶硅锭定向凝固生长中氧与碳的浓度分布

2.5 FEMAG/VB 软件

FEMAG/VB 是 FEMAG 专门用于模拟垂直布里奇曼法（Vertical Bridgman process, VB）与垂直梯度凝固法（Vertical Gradient Freeze process, VGF）晶体生长工艺的软件。该软件可对 CdTe、GaAs 等晶体的 VB/VGF 法生长过程进行仿真分析。

2.5.1 FEMAG/VB 软件的主要功能及特色

FEMAG/VB 软件具有以下主要功能及特色：

- 炉体全局热场计算
- 准稳态和动态模拟
- 熔体流场计算
- 辐射传热计算
- 固液界面形状计算
- 不同冷却模式的灵活选择
- 熔体、晶体中组分扩散与传质计算
- 加热器、隔热罩等熔炉组件对生长环境的影响分析

2.5.2 FEMAG/VB 软件的典型应用

FEMAG/VB 软件的典型应用是模拟 GaAs 晶体 VGF 法生长的工艺过程。图 2.18 是 GaAs 晶体。

利用 FEMAG/VB 软件准稳态模型模拟 3Kg GaAs 晶体 VGF 法生长过程的结果，如图 2.19 所示。



图 2.18 GaAs 晶体

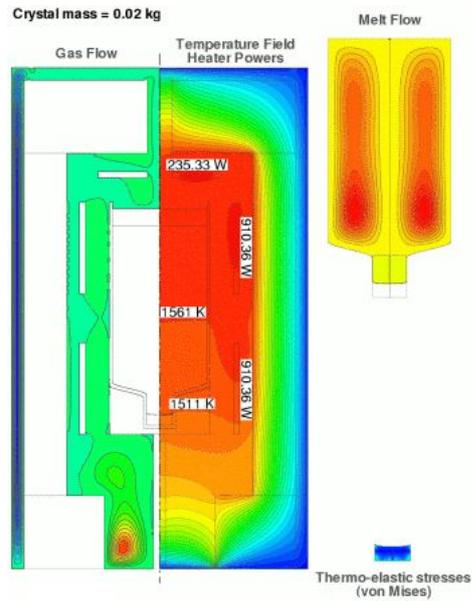
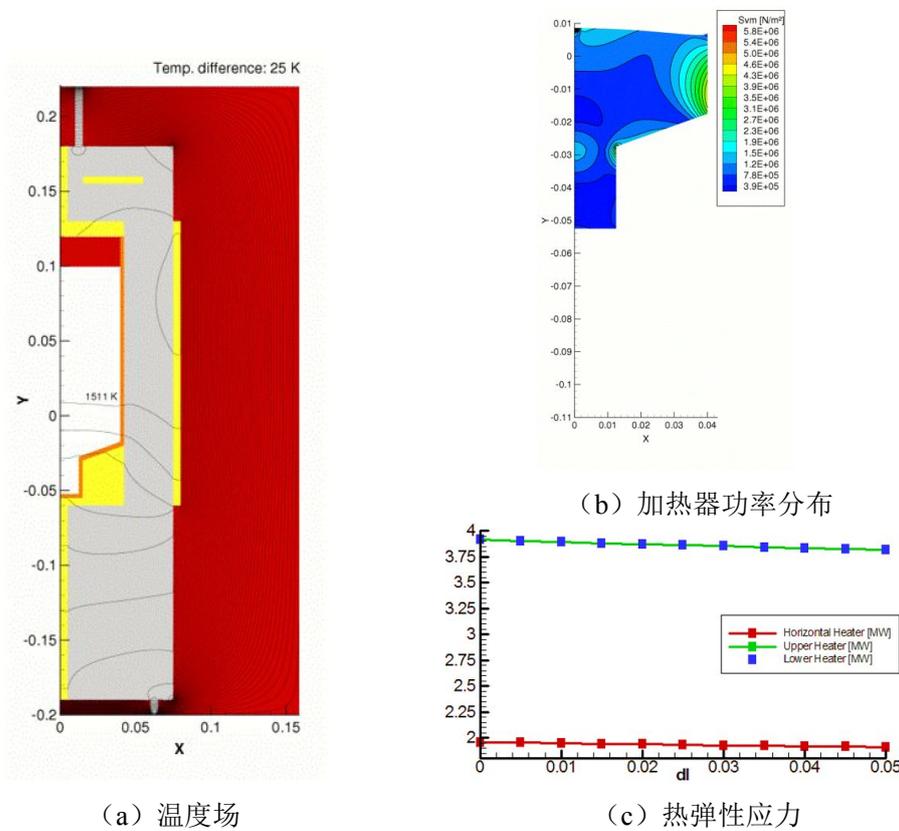


图 2.19 准稳态模拟 3Kg GaAs 晶体 VGF 法生长

图 2.20 是利用 FEMAG/VB 软件分析直径 80mm 晶体生长时的热场、加热功率以及热应力结果。(生长速率 3mm/h、加热器 3 个、每步计算晶体长度增加 50mm)。



(a) 温度场

(c) 热弹性应力

图 2.20 直径 80mm 晶体生长模拟

2.6 FEMAG/HEM 软件

FEMAG/HEM 是 FEMAG 专门用于模拟热交换法（Heat Exchange Method, HEM）晶体生长工艺的软件。该软件可对蓝宝石等晶体热交换法生长过程进行仿真分析。

2.6.1 FEMAG/HEM 软件的主要功能及特色

FEMAG/HEM 软件具有以下主要功能及特色：

- 炉体全局与局部热场计算
- 辐射传热计算
- 熔体流动计算
- 气体对流计算
- 固液界面形状计算
- 加热器功率自动计算

2.6.2 FEMAG/HEM 软件的典型应用

FEMAG/HEM 软件的典型应用是模拟分析蓝宝石晶体热交换法生长工艺过程。图 2.21 是利用 FEMAG/HEM 软件模拟蓝宝石生长的温度分布以及熔体对流。

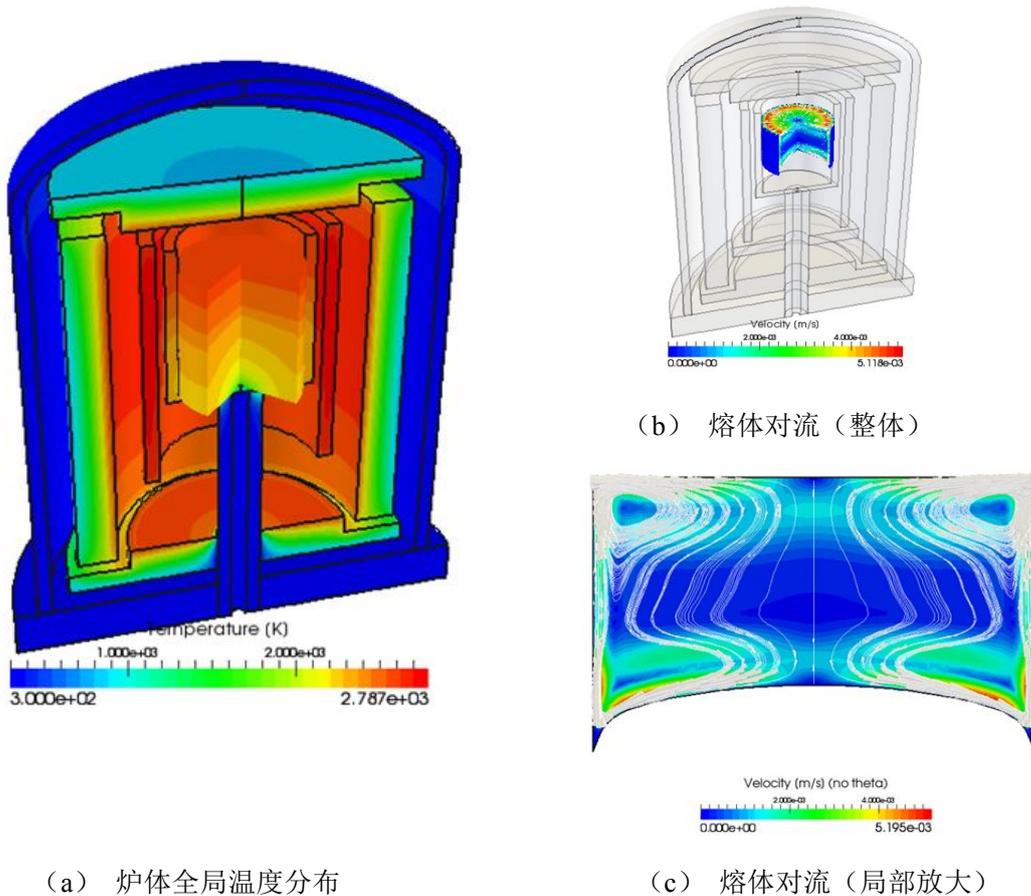


图 2.21 蓝宝石 HEM 生长的温度分布与熔体对流

2.7 FEMAG/PVT 软件

FEMAG/PVT 是 FEMAG 专门用于模拟物理气相传输法（Physical Vapor Transport process, PVT）晶体生长工艺的软件。该软件可分析 SiC、AlN、ZnO 等晶体的 PVT 法生长，为热场设计、炉体组件优化、工艺质量分析等提供可靠的解决方案，在半导体、太阳能光伏等领域具有广泛的应用。

2.7.1 FEMAG/PVT 软件的主要功能及特色

FEMAG/PVT 软件具有以下主要功能及特色：

- 支持半透明辐射传热
- 支持感应加热分析
- 准确的气体流动计算模型
- 支持多种气体进、出口模式设置
- 支持不同宏单元之间的传热系数的计算

2.7.2 FEMAG/PVT 软件的典型应用

FEMAG/PVT 软件可全面分析 PVT 生长过程中涉及的温度、生长速率、气体流动以及热应力等问题，特别是可用于模拟 SiC 晶体的 PVT 法生长过程。

SiC 是一种优质的宽带隙半导体材料，具有宽禁带、高击穿电场、高热导率、高饱和电子漂移速率等优点，是制备高温、大功率、低损耗大直径器件芯片以及光伏组件的基础和关键。图 2.22 为 SiC 晶体在半导体、集成电路、太阳能光伏领域中的应用。

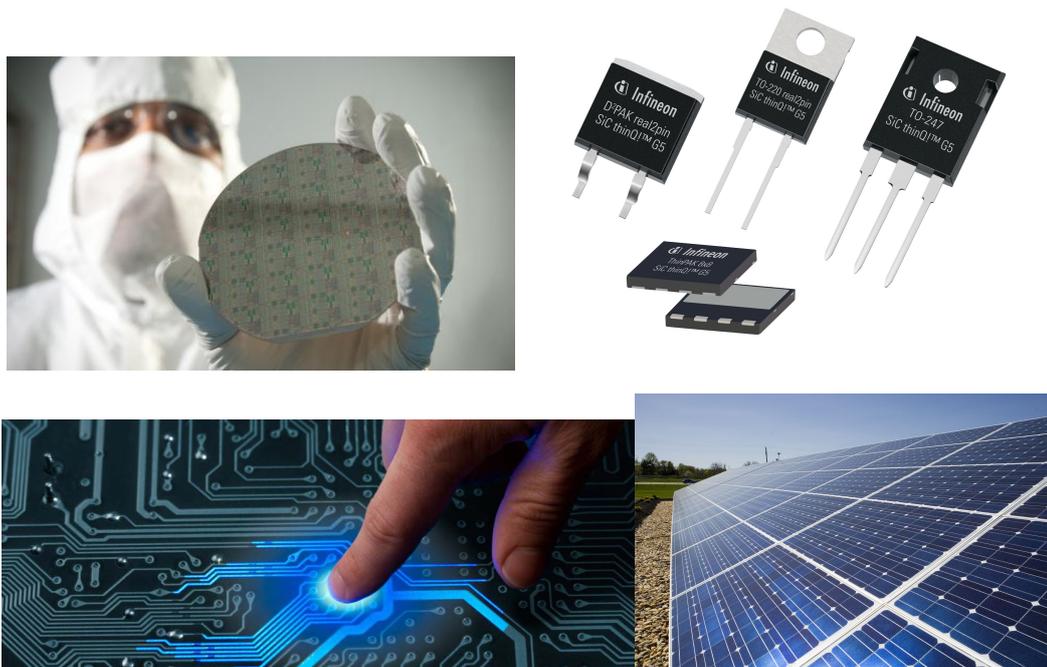


图 2.22 SiC 晶体在半导体、集成电路、太阳能光伏电池中的应用

单晶 SiC 无法经过熔融法形成，PVT 法是获得单晶 SiC 的常用方法。PVT 法制备单晶 SiC 的生长原理是：高纯 SiC 粉源在高温下分解形成气态物质（主要为 Si、SiC₂、Si₂C），这些气态物质在过饱和度的驱动下，升华至冷端的籽晶处进行生长。过饱和度是由籽晶与粉源之间的温度梯度引起的。

图 2.23 是利用 FEMAG/PVT 软件计算 SiC 晶体 PVT 生长过程中沉积腔内的温度分布(电压 30V、气压 0.015bar、封闭腔外流量 0.004 std m³/s)。

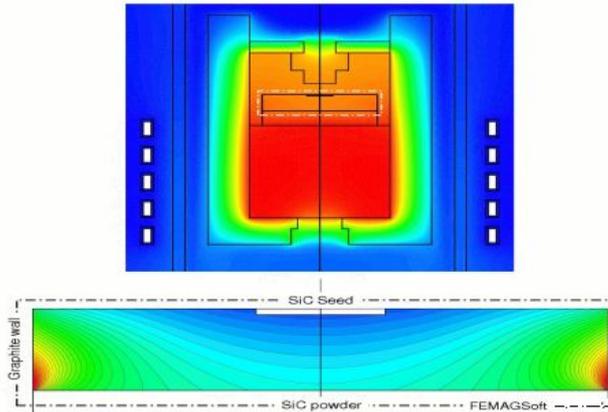


图 2.23 SiC 晶体 PVT 生长中沉积腔内的温度分布

三、FEMAG 软件的主要技术优势

3.1 模型先进、算法高效，求解精度高

晶体生长过程是一个高度非线性的、多场多尺度的复杂问题，涉及热传导、对流、辐射与相变，空间尺度与时间尺度跨度范围大。例如，熔体与气相的传热、传质，湍流，热辐射相互耦合作用，会显著影响晶体的缺陷形成；熔体与气相中存在急剧扩散、粘性、辐射、热边界层（有时还伴随着复杂的缺陷边界层），空间尺度跨度大；晶体生长的时间尺度一般慢于热传导时间尺度两个数量级，慢于对流传热时间尺度六个数量级，时间尺度跨度大。FEMAG 软件通过建立先进的、考虑多种耦合效应的传热、湍流等全局有限元模型（准稳态模型、逆向动态、直接动态模型），基于非结构化网格而开发的 Navier-Stokes 求解器，结合 Newton-Raphson 迭代法，可以准确、高效地求解晶体生长过程中的多尺度复杂问题。

3.2 炉体设计技术成熟，优化生长过程高效、方便

利用 FEMAG 软件可以对复杂的轴对称/非轴对称热场进行全局模拟，提供用以预测复杂系统中物理变量的信息，从而帮助用户有效地预测、控制晶体中的缺陷以及形状，改善、优化晶体生长炉内全局热场温度分布与晶体生长中特有的工艺参数，优化晶体生长的工艺过程与质量，以满足对生产优质、低成本、高使用寿命的晶体的实际需求。例如在设计工程领域，利用 FEMAG 软件可以设计生长

熔炉系统中保温套和反射体的形状、材质和位置，可确定加热器的位置，设计辅助加热器，选择与设计保温层，从而帮助用户更好地设计与优化晶体生长的环境。FEMAG 软件的主要功能如图 3.1 所示。

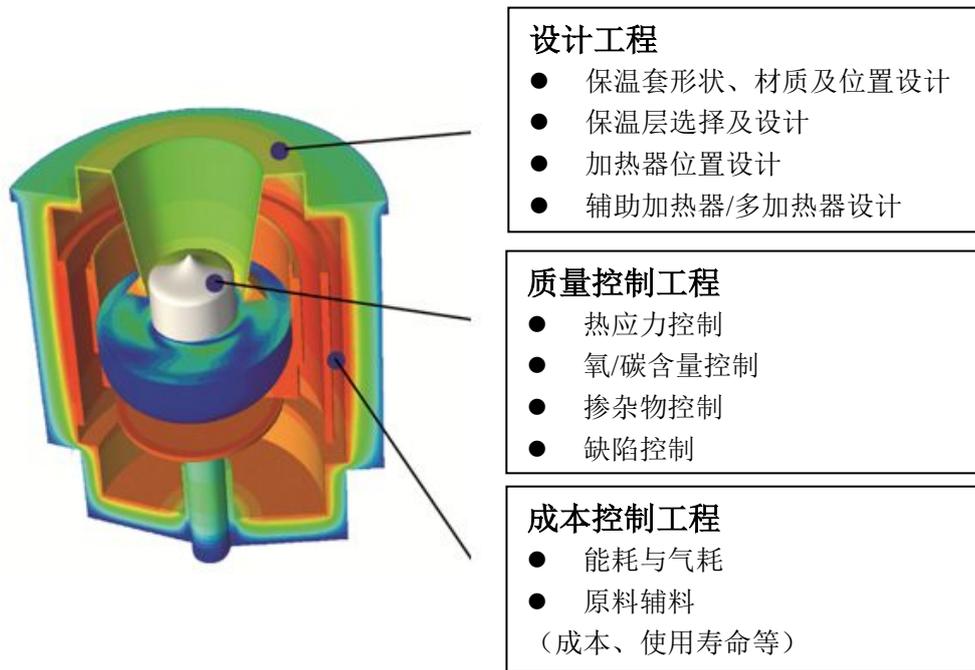


图 3.1 FEMAG 的主要功能

3.3 功能全面，独具区熔法生长工艺仿真分析功能

FEMAG 软件具有丰富、全面的分析功能，可以用于分析、优化不同的晶体生长工艺过程，有效地全局模拟分析复杂的 2D/3D 多场耦合问题。此外，FEMAG 软件是国际上唯一一款具有区熔法生长工艺仿真分析功能的晶体生长数值模拟软件。利用 FEMAG/FZ 软件，可以有效地预测区熔法制备超纯单晶体的整个工艺过程，包括辅助设计热场、分析温度分布、预测晶锭缺陷、评估良品率以及优化工艺参数等。

3.4 中国本土化技术服务便捷、到位

比利时 FEMAG 公司已与中仿科技（CnTech）在上海联合成立 FEMAG 中国研发中心。研发中心本着前瞻性的技术研发和本土化服务的目标，致力于为中国地区的 FEMAG 用户提供最全面的解决方案以及最优质的技术服务。研发中心可为用户提供：

- FEMAG 软件最新资讯
- FEMAG 软件定制开发
- 高效便捷的在线交流平台
- 实时交流的网络研讨会
- 全国范围内的线下技术研讨会
- 专业的软件定制培训

全国统一客户服务热线：400 888 5100 网址：www.CnTech.com.cn 邮箱：info@cntech.com.cn

四、关于 FEMAG 公司

FEMAG 是全球领先的晶体生长多物理场仿真分析软件。从 20 世纪 80 年代开始，FEMAG 公司的核心成员就着力为全球用户开发最专业的晶体生长数值仿真工具，经过三十多年的不断发展，已为全球绝大多数晶体设备供应商、半导体材料科研机构等提供设计、优化其晶体生长工艺过程的帮助。

FEMAG 公司总部位于比利时。FEMAG 公司创始人和首席科学家、新鲁汶大学教授 Dr. François Dupret 是国际著名晶体生长和流体力学专家、第二届晶体生长模型国际研讨会主席、EUROTHERM 相变热力学研讨会联合主席、机械工程学位委员会主席，曾担任国际晶体生长（Journal of Crystal Growth）期刊主编。作为国际上晶体生长数学模型构建和数值仿真计算的领导者和奠基人，其开创性的产品 FEMAG 在国际上广受欢迎，用户遍及全球。

五、FEMAG 公司的主要合作伙伴

FEMAG 拥有来自世界各地的顶级公司和机构作为合作伙伴。FEMAG 公司拥有一大批世界顶级科学家和专业工程师，长期与新鲁汶大学有非常密切的合作。此外，公司还得到了比利时政府的大力支持。我们坚信 FEMAG 软件能够为您或您的企业提供最出色的工艺优化方案。

FEMAG 公司的主要合作伙伴有：

1、UCL（新鲁汶大学）

www.uclouvain.be

新鲁汶大学早在 20 世纪 80 年代就开展了晶体生长方面的研究，是晶体生长领域研究的先驱单位。目前 FEMAG 的相关研究在该校系统工程与应用力学中心进行。

2、Kayex（美国 Kayex 技术公司）

www.thermalproductsolutions.com/kayex

Kayex 技术公司是美国世界五百强企业 SPX 的合作子公司，是世界领先的电子和太阳能级硅材料提拉单晶炉设备供应商，为全球众多优秀的太阳能硅片企业独家提供单晶生长设备，其客户遍及北美和欧亚。Kayex 公司在晶体生长工艺发展和优化领域使用 FEMAG 软件。

3、CGS

www.cgs-gmbh.de

FEMAG 公司与 CGS 保持着密切的合作关系。

4、IKZ

www.ikz-berlin.de

IKZ 是德国莱布尼茨学会的一个研究机构，也是柏林 Forschungsverbund 研究协会的成员之一，其主要的研究领域包括自然科学、材料科学等。IKZ 在浮动区熔领域的研究就是借助 FEMAG/FZ 软件来进行的。

5、Hanyang University（韩国汉阳大学）

www.hanyang.ac.kr

FEMAG/CZ 软件在韩国汉阳大学相关科研领域的应用已经具有多年的历史。主要应用部门和机构包括计算机与电子工程部、纳米 SOI 国家重点实验室等。

6、Washington University in St. Louis (美国圣路易斯华盛顿大学)

www.wustl.edu

FEMAG 公司与该校能源、环境、化学工程等诸多部门都有紧密的合作，软件得到校方的认可。

7、AWEX

www.awex.be

FEMAG 在 AWEX 的协助与合作下发展非常迅速，商业活动遍及全球各地。

8、DGTRE

recherche-technologie.wallonie.be

DGTRE 为 FEMAG 的发展和研究提供了大力支持。

9、其他国内高校和科研机构

清华大学、北京有色金属研究总院、天津环欧半导体材料、中环股份等。

图 5.1 是 FEMAG 公司的一些合作伙伴。



图 5.1 FEMAG 部分合作伙伴

六、关于中仿科技（CnTech）公司

近年来，中国已经成为全球最大的光伏制造基地和半导体材料消费市场，同时，处于全球竞争体系中的本土半导体设备企业面临着国际半导体设备公司的垄断，国内的晶体设备厂商要破除国际垄断的坚冰，就需要做到更灵敏的反应、灵活的研发和加倍的努力。

中仿科技（CnTech）与比利时 FEMAG 公司深度强强合作，本着“根植中国，服务全球”的理念，共同在上海设立 FEMAG 中国研发中心，将国际一流的数值算法及数字仿真技术引入中国，研发更适合中国市场并完全拥有中国自主知识产权的产品，服务中国并辐射全球用户。FEMAG 中国研发中心以具有前瞻性技术的产品、强大的协同创新能力、优质的技术支持，让本土高端装备、材料科学、半导体、集成电路、LED、晶体设备厂商和科研用户更富有竞争力。

中仿科技（CnTech）成立于 2003 年，是中国领先的仿真分析软件和系统解决方案的提供者。中仿科技依靠自主创新研发拥有自主知识产权的中仿 CAE 系列产品，同时与国际上领先的数值仿真技术公司拥有长期而紧密的合作关系，具备较强的自主研发能力和创新能力，能够为中国企业和科研机构提供世界一流的仿真技术解决方案。

