

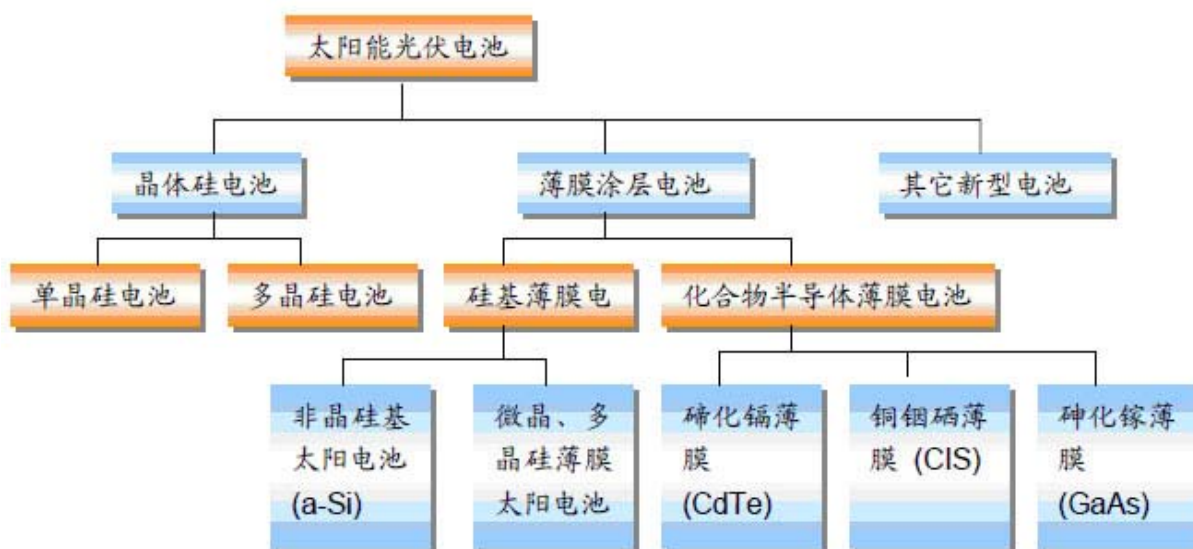
FEMAG 晶体生长数值模拟技术在太阳能光伏行业的应用

1.太阳能电池与光伏晶体

太阳能是 21 世纪最具潜力的一项新能源。通过太阳光电系统，利用光伏半导体材料的光生伏特效应，可以将太阳能转化为直流电能。光伏设施的核心是太阳能电池板。近年来由于各国都在积极推动可再生能源的应用，光伏产业的发展十分迅速。



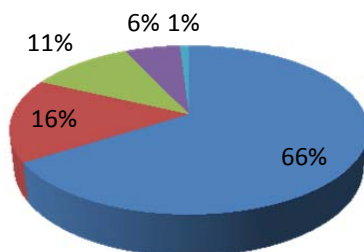
常见的太阳能电池类型主要有晶体硅电池，薄膜涂层电池等。根据电池类型不同，用来发电的半导体材料也不同，主要有：单晶硅、多晶硅、非晶硅、砷化镓及碲化镉等。目前应用最广、最成熟的是晶体硅太阳能电池。



据预测，太阳能光伏发电在 21 世纪将成为世界能源供应的主体。预计到 2030 年，可再生能源在总能源结构中占到 30% 以上，而太阳能光伏发电在世界总电力供应中的占比也将达到 10% 以上；到 2040 年，可再生能源将占总能耗的 50% 以上，太阳能光伏发电将占总电力的 20% 以上；到 21 世纪末，可再生能源在能源结构中占到 80% 以上，太阳能发电将占到 60% 以上。

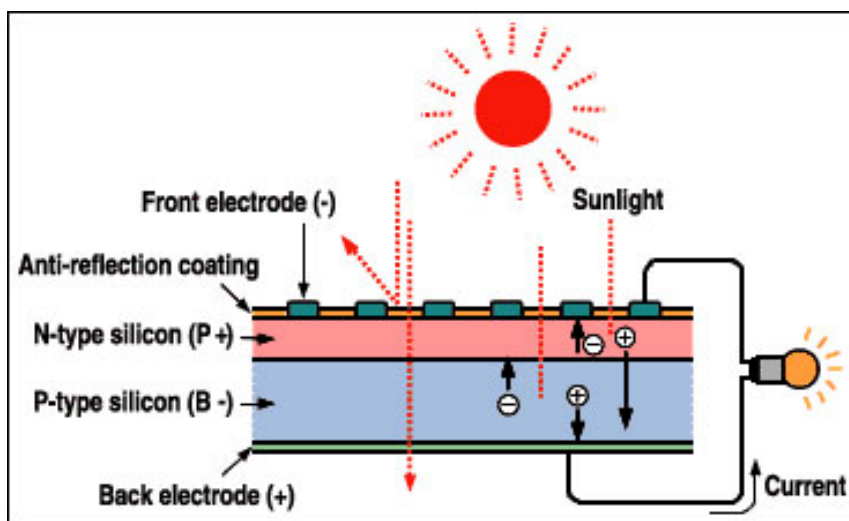
2012年太阳能电池市场结构

■ 晶硅电池66% ■ 非晶硅电池16% ■ CdTe薄膜电池11%
■ CIGS薄膜电池6% ■ 其他1%



2.光伏晶体的转化效率

以晶体硅太阳能电池为例，其工作原理图表明硅晶体是太阳能电池的核心结构，将硅晶体制成PN结吸收光子能量，通过形成自由电子和空位的流动，使不同部位之间产生电势差，并通过电极接入电路提供电源。其他类型的太阳能电池根据取材不同，在光吸收频率和转化效率以及制备成本方面各有优势，但其工作原理都是相同的。太阳能电池核心部件都是对应的半导体晶体或薄膜。



研究表明，晶体的缺陷对电能转化率和光吸收率有极大的影响，严重制约着太阳能电池的普及应用。目前单晶硅的转化率最高，理论值约为 25%。此外，由于晶体制备工艺复杂，太阳能电池成本普遍偏高，晶体制备成本成为了太阳能电池生产成本的主要构成。

如何提高光伏晶体生产质量和效率，如何降低成本，成为了使太阳能电池普及应用首先要解决的关键问题。

在太阳能电池中普遍使用的单晶硅，多晶硅，CdTe，GeAs 等晶体，在工业上多采用提拉法，定向凝固法，区熔法晶体等生长工艺制备。其制备工艺和控制条件复杂，影响因素甚多，例如生长炉体的传热，熔体对流等都会对晶体质量以及太阳能电池的性能产生很大影响。

精确控制热场，分析晶体生长质量，预测晶体缺陷，是提高原料利用率和成品率，降低太阳能电池生产和研发成本的重要途径，也是促进太阳能电池技术革新，推进太阳能电池应用普及的重要手段。

3.光伏晶体生长 FEMAG 解决方案

FEMAG 软件是一款专业的晶体生长模拟软件，对于典型的晶体生长工艺，例如提拉法、区熔法、定向凝固法以及坩埚下降法等，其仿真精度都处于世界领先地位，能够优化单晶硅，多晶硅，GeAs 晶体等光伏晶体的生产质量，提高生产效率和成品率，大幅降低太阳能电池成本。

利用 FEMAG 可以实现：

(1) 全局的熔体气体对流与热场分析

利用 FEMAG/CZ 在不同气体流量下（500，1500，3000，4500L/h）对直拉法单晶硅的全局对流模拟，其中（a）（b）是热场图（c）（d）是流场图。利用 FEMAG 可以优化晶体生长工艺，优化热场，提高晶体质量，减小能耗。

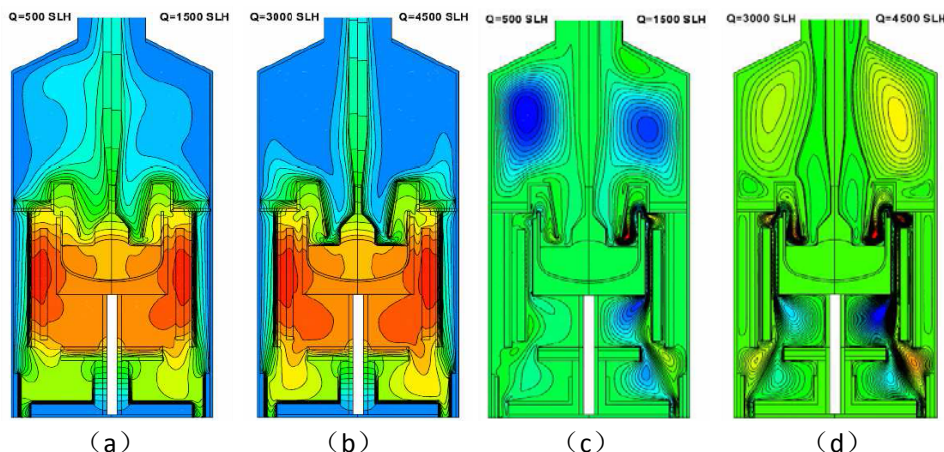


图 3.1 不同气体流量下的熔体气体对流

(2) 晶体缺陷预测分析

利用 FEMAG 可以分析晶体生长过程的含氧量分布以及空位和缺陷浓度预测，为晶体生长质量优化提供依据。

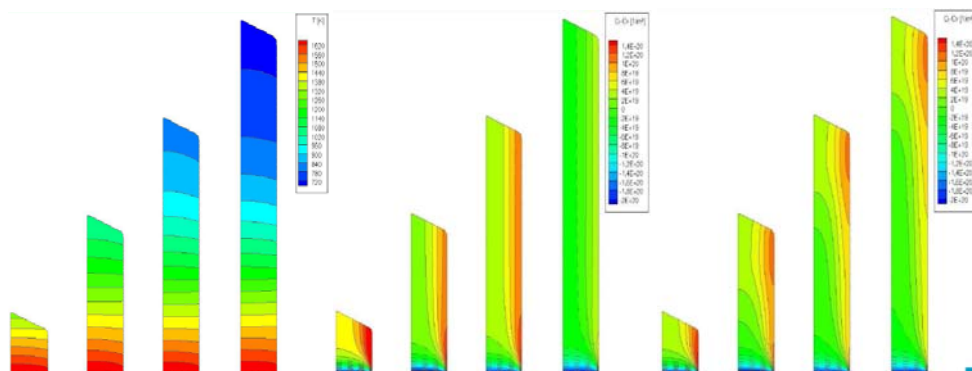


图 3.2 FEMAG/CZ 缺陷分析 (a) 温度场 (b) Ci-Cv 缺陷 (c) Ci-Cv 缺陷

(3) 熔体特殊流场分析

FEMAG 软件具有先进的流体分析算法，对定向凝固等工艺中复杂流体模式（例如 Marangon 效应）能够获得精确的分析结果。

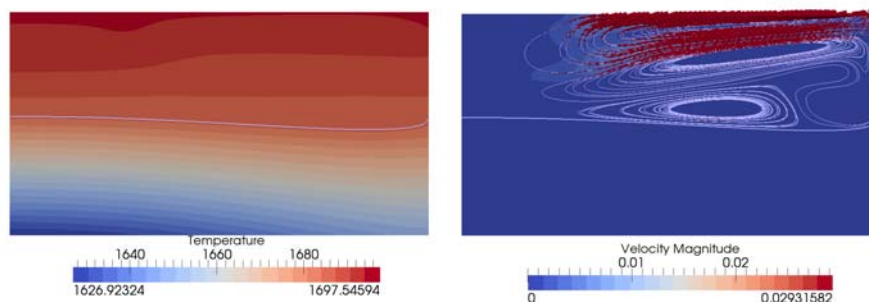


图 3.3 FEMAG/DS 分析 Marangoni 效应下的流场和温度场

(4) 磁场与流场耦合分析

对于晶体生长工艺中常用的坩埚旋转与外加磁场优化，FEMAG 也能够提供复杂耦合场作用下晶体生长过程的精确模拟，为工艺优化提供参考。

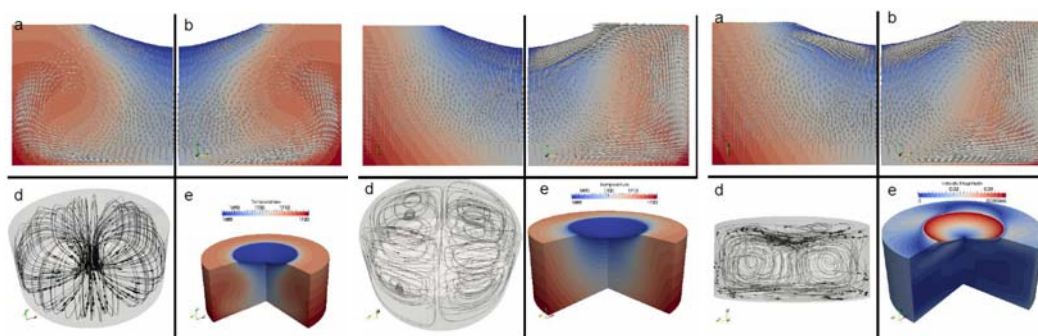


图 3.4 (a) 无旋转无磁场

(b) 无旋转有磁场

(c) 有旋转有磁场

(5) DS 定向凝固模拟技术

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。

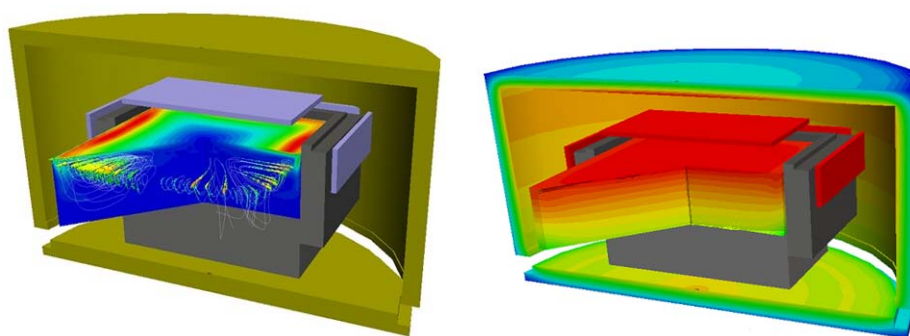


图 2.16 多晶硅锭定向凝固生长的流速与温度场分布

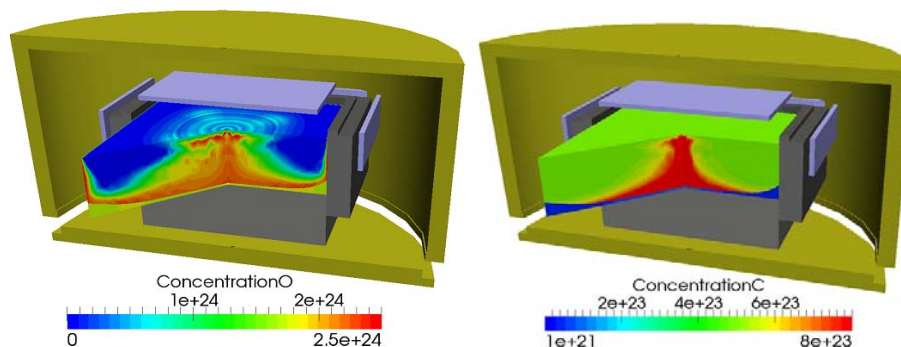


图 2.17 多晶硅锭定向凝固生长中氧与碳的浓度分布

4.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，共同在中国设立中仿 FEMAG 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。中仿 FEMAG 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。

了解更多详细信息，可访问公司网站：<http://www.CnTech.com.cn>。

公司邮箱：info@cntech.com.cn，全国统一客服热线：400 888 5100。

中仿科技（上海）公司

电话：+86 21-37696588 传真：+86 21-37696588-823

中仿科技（北京）公司

电话：+86-10-59713407 传真：+86-10-59713207

中仿科技（武汉）公司

电话：+86-27-68782895 传真：+86-27-68782895

