



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106544723 A

(43)申请公布日 2017.03.29

(21)申请号 201710025412.4

(22)申请日 2017.01.13

(71)申请人 中山大学

地址 510275 广东省广州市海珠区新港西路135号

(72)发明人 朱允中 王彪 马德才 林少鹏

(74)专利代理机构 广州新诺专利商标事务有限公司 44100

代理人 吴静芝

(51)Int.Cl.

C30B 15/22(2006.01)

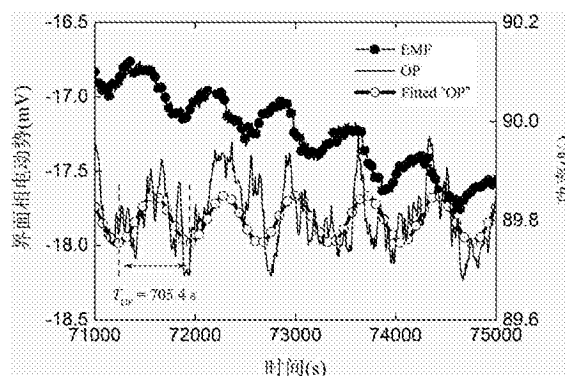
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

晶体生长界面扰动的原位探测方法、控制方法及控制系统

(57)摘要

本发明涉及一种晶体生长界面扰动的原位探测方法,通过采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据;根据所述电信号数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动状态。本发明还涉及一种晶体生长界面扰动的控制方法,根据本发明获得的晶体生长界面的扰动状态调整晶体生长条件,以控制晶体生长界面扰动。本发明还涉及一种晶体生长界面扰动的控制系统,包括晶体生长界面扰动控制装置、生长信号采集单元和信号处理单元。通过本发明的方法可以实时反馈晶体生长界面状态,使现有手段难以探测到的微弱的界面扰动得以清晰展现,突破性地解决了提拉法晶体生长界面扰动检测的难题。



1. 一种晶体生长界面扰动的原位探测方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1:采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据;

S2:根据所述电信号数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动状态。

2. 根据权利要求1所述的晶体生长界面扰动的原位探测方法,其特征在于:所述步骤S2进一步为:根据所述电信号数据的波动规律计算晶体生长界面的扰动参数,从而获得晶体生长界面的扰动状态。

3. 根据权利要求2所述的晶体生长界面扰动的原位探测方法,其特征在于:所述步骤S1中,从盛放晶体原料的坩埚和安放籽晶的籽晶杆分别引出电极,在提拉生长晶体的过程中,采集所述晶体和熔体间的界面相电动势。

4. 根据权利要求3所述的晶体生长界面扰动的原位探测方法,其特征在于:所述步骤S2通过以下步骤获得热滞时间:

S21:实时记录晶体生长过程中的功率数据;

S22:对所述功率数据进行拟合处理,获得拟合后的功率数据;

S23:通过计算所述电信号数据和拟合后的功率数据的相位差,获得热滞时间。

5. 根据权利要求3或4所述的晶体生长界面扰动的原位探测方法,其特征在于:所述步骤S2通过以下步骤获得扰动周期:

S24:从所述电信号数据中提取结晶电动势数据;

S25:根据所述结晶电动势数据计算晶体生长速度数据;

S26:由所述晶体生长速度数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动周期。

6. 根据权利要求5所述的晶体生长界面扰动的原位探测方法,其特征在于:进一步通过对所述步骤S26中晶体生长速度数据的波动规律的周期进行积分获得扰动幅度。

7. 一种晶体生长界面扰动的控制方法,包括以下步骤:

W1:采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据;

W2:根据所述电信号数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动状态;

W3:根据获得的晶体生长界面的扰动状态调整晶体生长条件,以控制晶体生长的界面扰动。

8. 根据权利要求7所述的晶体生长界面扰动的控制方法,其特征在于:所述步骤W2进一步为:根据所述电信号数据的波动规律计算晶体生长界面的扰动参数,从而获得晶体生长界面的扰动状态。

9. 根据权利要求8所述的晶体生长界面扰动的控制方法,其特征在于:所述步骤W1中,从盛放晶体原料的坩埚和安放籽晶的籽晶杆分别引出电极,在提拉生长晶体的过程中,采集所述晶体和熔体间的界面相电动势。

10. 根据权利要求9所述的晶体生长界面扰动的控制方法,其特征在于:所述步骤W2包括:

W21:实时记录晶体生长过程中的功率数据;

W22:对所述功率数据进行拟合处理,获得拟合后的功率数据;

W23:通过计算所述电信号数据与拟合后的功率数据的相位差,获得热滞时间;

所述步骤W3包括:根据所述步骤W23获得的热滞时间调整晶体生长控温参数。

11. 根据权利要求9或10所述的晶体生长界面扰动的控制方法,其特征在于:步骤W2还包括:

W24:从所述电信号数据中提取结晶电动势数据;

W25:根据所述结晶电动势数据计算晶体生长速度数据;

W26:根据所述晶体生长速度数据的波动规律获得扰动周期和扰动幅度;

所述步骤W3还包括:根据所述步骤W26获得的扰动周期和扰动幅度调整抑制晶体生长界面扰动的外场参数。

12. 根据权利要求11所述的晶体生长界面扰动的控制方法,其特征在于:所述外场参数包括:外磁场、或超声波、或对流场、或重力场中的一种或几种。

13. 一种晶体生长界面扰动的控制系统,其特征在于:包括晶体生长界面扰动控制装置、生长信号采集单元和信号处理单元;所述生长信号采集单元采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据并将该电信号数据传输至所述信号处理单元,所述信号处理单元对该电信号数据进行处理,获得反馈晶体生长界面扰动的波动数据并将该波动数据传输至所述晶体生长界面扰动控制装置;

所述晶体生长界面扰动控制装置包括坩埚、籽晶杆、温控单元和外场控制单元;所述温控单元与坩埚电连接,控制晶体生长温度;所述外场控制单元设置在晶体生长系统周围,控制晶体生长系统的外场参数;所述生长信号采集单元包括电极和微伏表,所述电极从坩埚和籽晶杆分别引出,并与所述微伏表连接;所述信号处理单元包括信号接收及分析模块,所述信号接收及分析模块接收所述微伏表输出的电信号数据并将该电信号数据转换为生长界面波动数据传输至所述温控单元或外场控制单元。

14. 根据权利要求13所述的晶体生长界面扰动的控制系统,其特征在于:所述信号处理单元还包括一PID控制器,所述PID控制器接收所述微伏表输出的电信号数据和温控单元输出的功率数据,并计算所述电信号数据与功率数据的相位差获得控温参数,并将该控温参数输出至所述温控单元。

晶体生长界面扰动的原位探测方法、控制方法及控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及晶体生长领域,特别是涉及一种晶体生长界面扰动的原位探测方法、控制方法及控制系统。

背景技术

[0002] 提拉法是从熔体中提拉生长高质量单晶的方法。提拉法的基本原理是:将构成晶体的原料放在坩埚中加热熔化,在熔体表面接籽晶提拉熔体,在受控条件下,使籽晶和熔体在交界面上不断进行原子或分子的规则排列,随降温逐渐凝固而生长出单晶体。提拉法的生长工艺是:首先将待生长的晶体的原料放在耐高温的坩埚中加热熔化,调整炉内温度场;然后让安装于籽晶杆上的籽晶接触熔体表面,待籽晶表面稍熔后,提拉并转动籽晶杆,使熔体处于过冷状态并结晶于籽晶上,在不断提拉和旋转过程中,生长出晶体。提拉法晶体生长系统通常包括加热系统、坩埚和籽晶夹、传动系统、气氛控制系统和后加热器,晶体生长过程中,由于功率、对流、机械运动等因素影响,生长界面会产生扰动,从而影响晶体品质。

[0003] 晶体品质依赖于质量检测,但当前晶体领域的质量检测仅围绕晶体成品,缺乏在生长过程中检测生长界面扰动的手段,只能在晶体生长完成后检测晶体毛坯、晶棒、或晶片,不合格晶体只能废弃,由于单晶生长周期长(多天甚至数月),能源和人力消耗极大,为控制成本企业往往妥协品质要求。此外,由于缺乏实时反馈,高品质晶体制备工艺的研发往往需要数百个生长周期,以验证多种方案、参数的实际效果,而生长工艺研发是晶体产业的命脉,但其巨大消耗、漫长周期和难以琢磨的特性,往往令研究人员束手无策。

[0004] 晶体生长属固液气三态共存的高温高压复杂环境,尽管大规模生产的制备工艺相近,但每台设备的温场、对流、界面扰动情况千差万别。现有探测手段中,温度传感器(热电偶)无法安置于晶体生长界面位置,会影响晶体正常生长;称重传感器灵敏度较低,无法探测到界面扰动引起的重量变化;而光学手段(CCD)只能反映晶体生长界面的轮廓,不能探测生长界面内部的实际情况。因此,现有手段均无法实现晶体生长过程中精确生长质量信息的实时反馈,品质检测只能在漫长的晶体生长周期完成后开始,而不合格晶体的能源、人工、设备的巨大消耗亦难以挽回。而当前判断生长界面稳定性的方法(液流线、光圈)十分粗糙,完全依赖人工经验、无法量化总结。由于缺乏对生长界面扰动的实时精确反馈,导致晶体生长的工艺细节难以把握、无法数据化和规范化,晶体品质良莠不齐。

发明内容

[0005] 基于此,本发明的目的在于,提供一种晶体生长界面扰动的原位探测方法,可实现精确、实时的晶体生长界面扰动检测,且不影响晶体生长过程。

[0006] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种晶体生长界面扰动的原位探测方法,包括以下步骤:

[0008] S1:采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据;

[0009] S2:根据所述电信号数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动状态。

[0010] 相对于现有技术,本发明利用电信号实时反馈晶体生长界面状态,使现有手段难以探测到的微弱的界面扰动得以清晰展现,突破性地解决了提拉法晶体生长界面扰动检测的难题。

[0011] 进一步,所述步骤S2为:根据所述电信号数据的波动规律计算晶体生长界面的扰动参数,从而获得晶体生长界面的扰动状态。

[0012] 进一步,所述步骤S1中,从盛放晶体原料的坩埚和安放籽晶的籽晶杆分别引出电极,在提拉生长晶体的过程中,采集所述晶体和熔体间的界面相电动势。

[0013] 进一步,所述步骤S2通过以下步骤获得热滞时间:

[0014] S21:实时记录晶体生长过程中的功率数据;

[0015] S22:对所述功率数据进行拟合处理,获得拟合后的功率数据;

[0016] S23:通过计算所述电信号数据和拟合后的功率数据的相位差,获得热滞时间。

[0017] 进一步,所述步骤S2通过以下步骤获得扰动周期:

[0018] S24:从所述电信号数据中提取结晶电动势数据;

[0019] S25:根据所述结晶电动势数据计算晶体生长速度数据;

[0020] S26:由所述晶体生长速度数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动周期。

[0021] 进一步,通过对所述步骤S26中晶体生长速度数据的波动规律的周期进行积分获得扰动幅度。

[0022] 本发明还提供了一种晶体生长界面扰动的控制方法,包括以下步骤:

[0023] W1:采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据;

[0024] W2:根据所述电信号数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动状态;

[0025] W3:根据获得的晶体生长界面的扰动状态调整晶体生长条件,以控制晶体生长的界面扰动。

[0026] 相对于现有技术,本发明利用电信号实时探测晶体生长界面的扰动情况,获得生长界面状态,由于电信号反馈非常敏感,可以克服判断滞后的缺陷,从而实时调整削弱扰动的参数,改善晶体生长条件,提高晶体质量。

[0027] 进一步,所述步骤W2为:根据所述电信号数据的波动规律计算晶体生长界面的扰动参数,从而获得晶体生长界面的扰动状态。

[0028] 进一步,所述步骤W1中,从盛放晶体原料的坩埚和安放籽晶的籽晶杆分别引出电极,在提拉生长晶体的过程中,采集所述晶体和熔体间的界面相电动势。

[0029] 进一步,所述步骤W2包括:

[0030] W21:实时记录晶体生长过程中的功率数据;

[0031] W22:对所述功率数据进行拟合处理,获得拟合后的功率数据;

[0032] W23:通过计算所述电信号数据与拟合后的功率数据的相位差,获得热滞时间;

[0033] 所述步骤W3包括:根据所述步骤W23获得的热滞时间调整晶体生长控温参数。

[0034] 进一步,所述步骤W2还包括:

[0035] W24:从所述电信号数据中提取结晶电动势数据;

[0036] W25:根据所述结晶电动势数据计算晶体生长速度数据;

[0037] W26:根据所述晶体生长速度数据的波动规律获得扰动周期和扰动幅度;

[0038] 所述步骤W3还包括:根据所述步骤W26获得的扰动周期和扰动幅度调整抑制晶体生长界面扰动的外场参数。

[0039] 进一步,所述外场参数包括:外磁场、或超声波、或对流场、或重力场中的一种或几种。

[0040] 本发明还提供了一种晶体生长界面扰动的控制系统,包括晶体生长界面扰动控制装置、生长信号采集单元和信号处理单元;所述生长信号采集单元采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据并将该电信号数据传输至所述信号处理单元,所述信号处理单元对该电信号数据进行处理,获得反馈晶体生长界面扰动的波动数据并将该波动数据传输至所述晶体生长界面扰动控制装置;

[0041] 所述晶体生长界面扰动控制装置包括坩埚、籽晶杆、温控单元和外场控制单元;所述温控单元与坩埚电连接,控制晶体生长温度;所述外场控制单元设置在晶体生长系统周围,控制晶体生长系统的外场参数;所述生长信号采集单元包括微伏表和电极,所述电极从坩埚和籽晶杆分别引出,并与所述微伏表连接;所述信号处理单元包括信号接收及分析模块,所述信号接收及分析模块接收所述微伏表输出的电信号数据并将该电信号数据转换为生长界面波动数据传输至所述温控单元或外场控制单元。

[0042] 相对于现有技术,本发明的晶体生长界面扰动的控制系统可实时调整控温参数或外场参数,以缓解界面扰动,优化晶体生长界面;且该控制系统的硬件设施装配简单,避免了复杂的机械结构对设备造成的负担,可有效减小晶体生长系统的不稳定因素。

[0043] 进一步,所述信号处理单元还包括一PID控制器,所述PID控制器接收所述微伏表输出的电信号数据和温控单元输出的功率数据,并计算所述电信号数据与功率数据的相位差获得控温参数,并将该控温参数输出至所述温控单元。

[0044] 为了更好地理解和实施,下面结合附图详细说明本发明。

附图说明

[0045] 图1为实施例1的铌酸锂单晶成品的外观和数据记录。

[0046] 图2为实施例1的晶体生长过程中的电信号数据和功率数据。

[0047] 图3为实施例1的结晶电动势数据和计算的晶体生长速度数据。

[0048] 图4为本发明的晶体生长界面扰动的控制系统的示意图。

具体实施方式

[0049] 发明人在研究中发现,在晶体生长过程中,晶体与熔体之间形成的界面相电动势由结晶电动势和热电动势组成,其中热电动势主要与晶体生长高度有关,而结晶电动势与晶体结晶情况有关,两者结合可反馈晶体在生长界面的生长状态,从而根据界面相电信号的波动规律获得晶体生长界面的扰动情况。通过探测生长界面的电信号,可实时展现生长界面扰动状态,使难以被现有手段探测到的微弱的界面扰动也得以展现。基于上述研究,进一步获得了一种晶体生长界面扰动的原位探测方法、控制方法和控制系统。以下分别通过三个实施例进行详细说明:

[0050] 实施例1

[0051] 本实施例以规范的铈酸锂单晶成品为例,结合实验数据说明本发明的晶体生长界面扰动的探测方法。请参阅图1,图1为本实施例的铈酸锂单晶成品的外观和数据记录。其中,图1(a)其为本实施例的铈酸锂单晶成品外观图,可见铈酸锂单晶成品具备平滑的晶体表面,合理的放肩角度以及对称的三条晶棱。图1(c)为本实施例的铈酸锂单晶生长过程中的重量、温度和功率数据,可见,晶体的重量、温度、功率数据变化稳定,波动范围极小。综合图1(a)和图1(c)可见,本实施例的铈酸锂单晶的外观和数据记录证明晶体生长和控制过程良好。

[0052] 但是,无异常的晶体生长过程中仍无法回避晶体生长的一个普遍问题——生长条纹的产生,请参阅图1(b),其为本实施例的铈酸锂单晶的表面切片图,可见晶体表面存在均匀分布的生长条纹,平均间隔为 $974.5\mu\text{m}$ 。生长条纹是影响晶体品质的重要因素,不仅会增加晶体缺陷导致光学质量下降,甚至会直接导致晶体开裂。生长条纹是由晶体生长界面扰动产生的,在晶体生长过程中,这一微弱扰动往往难以被温度、重量、功率等现有反馈机制探测到。而本发明的探测方法可有效解决这一难题,通过探测晶体生长过程中的界面相电动势,可实时展现生长界面扰动状态,并精确描绘生长条纹的形成过程。

[0053] 具体的,本实施例的晶体生长界面扰动的原位探测方法,包括以下步骤:

[0054] S1:采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据。

[0055] 采集界面相电动势需搭建信号引出平台,具体的,从盛放晶体原料的坩埚和安放籽晶的籽晶杆分别引出电极,在提拉生长晶体的过程中,采集所述晶体和熔体间的界面相电动势。

[0056] 由于晶体生长温度较高,因此从所述坩埚引出的电极选用耐高温的材料,本实施例的电极优选铂金或铱金材料。

[0057] 作为进一步优化的,所述籽晶杆上安装有电气滑环。因为在晶体生长过程中,籽晶杆处于旋转状态,需要增装电气滑环以方便引出旋转的籽晶杆的电信号。

[0058] S2:根据所述电信号数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动状态。

[0059] 具体的,根据所述电信号数据的波动规律计算晶体生长界面的扰动参数,从而获得晶体生长界面的扰动状态。

[0060] 所述扰动参数具体为晶体生长系统的热滞时间、晶体生长界面的扰动周期和扰动幅度。在晶体生长过程中,热滞时间发生变化,说明由于保温系统和晶体生长系统发生变化导致晶体生长温度不稳定,从而引起晶体生长界面的波动。扰动周期和扰动幅度体现了生长界面波动的具体信息,根据扰动周期可区别不同诱因导致的生长界面波动,扰动幅度则展现了晶体与生长界面的相对运动。以下分别说明获得热滞时间、扰动周期和扰动幅度的方法。

[0061] 具体的,通过以下步骤获得热滞时间:

[0062] S21:记录了晶体生长过程中的功率数据。

[0063] 请参阅图2,其为本实施例的晶体生长过程中的电信号数据和功率数据。在晶体生长过程中(图1(c)插图所对应的时间段),实时记录功率数据(OP),并探测出规律波动的电信号数据(EMF)。

[0064] S22:对所述功率数据进行拟合处理,获得拟合后的功率数据。

[0065] 请参阅图2,对功率数据(OP)进行正弦拟合,从正弦拟合结果中发现有规律的功率波动(Fitted“OP”),且这一波动的周期($T_{op}=705.4s$)与电信号的波动周期高度吻合,由此可见,电信号的波动源于微弱的功率起伏。

[0066] S23:通过计算所述电信号数据和拟合后的功率数据的相位差,获得热滞时间。

[0067] 请参阅图2,比较电信号数据(EMF)的波动规律和正弦拟合后的功率数据(Fitted“OP”)的波动规律,通过计算所述电信号数据(EMF)和所述正弦拟合后的功率数据(Fitted“OP”)在同一时间轴上的相位差,获得晶体生长系统的热滞时间。

[0068] 具体的,通过以下步骤获得扰动周期和扰动幅度:

[0069] S24:从所述电信号数据中提取结晶电动势数据。

[0070] 在提拉法晶体生长系统中,界面相电动势由结晶电动势和热电动势组成。其中,结晶电动势源于晶体生长界面电荷的分布,该电荷来自晶体生长过程中的带电离子,该带电离子在生长界面的分布情况即反映了晶体生长的实际情况,因此,结晶电动势与晶体生长速度有关。热电动势由不同导电材料间的温差引起的电荷迁移产生,因此仅与晶体提拉高度有关,在稳定的晶体生长过程中,热电动势是线性的,不会产生明显波动。

[0071] 因此,在晶体生长过程中所采集到的电信号数据的波动现象是由结晶电动势的波动导致,即是界面扰动引起的晶体生长速度波动的表现。

[0072] 基于上述研究,从电信号数据中提取出结晶电动势,得到图3中的结晶电动势数据(Cry-EMF)。

[0073] S25:根据所述结晶电动势数据计算晶体生长速度数据。

[0074] 晶体生长过程中的宏观生长速度等同于籽晶杆的提拉速度,本实施例中,晶体的宏观生长速度为5mm/h。但在实际情况中,由于功率、对流、机械运动等因素产生的生长界面的扰动是无法避免的,这一扰动会导致晶体的生长速度发生波动。而晶体生长速度与结晶电动势直接相关,因此,可根据晶体电动势数据计算出对应的晶体生长速度数据。

[0075] 针对结晶电动势的波动情况,本实施例利用基于半导体异质结模型的结晶电动势(ϕ_{cry})计算公式 $2\phi_{cry}=\phi_0\ln(1+v/v_0)$,计算晶体生长速度(v),其中, ϕ_0 和 v_0 为提拉法晶体生长系统使用的常数,分别为3.9mV和1.9mm/h。晶体的宏观生长速度为5mm/h,因此系统的平均结晶电动势为2.52mV。

[0076] 对结晶电动势数据(Cry-EMF)进行以上计算得到图3中的晶体生长速度数据(V_{cal}),然后对晶体生长速度数据(V_{cal})进行正弦拟合,得到图3中的晶体生长速度数据的波动规律(Fitted“ V_{cal} ”)。

[0077] S26:由所述晶体生长速度数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动周期。

[0078] 请参阅图3,从晶体生长速度数据的波动规律(Fitted“ V_{cal} ”)中可以直接读取波动周期 $T_v=711.2s$,该波动周期 T_v 即为界面扰动的周期。

[0079] 进一步,通过晶体生长速度数据的波动规律可计算扰动幅度,具体的,该波动规律反应了晶体生长速度与宏观生长速度($\bar{v}=5\text{ mm/h}$)的差异,展现了晶体与生长界面的相对运动规律,其单个波动周期内的积分面积($\text{Area}=27.5\mu\text{m}$)即为单次界面扰动的幅度。

[0080] 至此,晶体生长界面的扰动情况就得以清晰、实时描绘。需要说明的是,上述热滞时间和扰动周期的获取可以分别独立进行,也可以同时进行,其相互之间不存在先后顺序关系。此外需要注意的是,晶体生长速度的变化情况不会严格服从拟合规律,尽管保温系统

中仍然存在不稳定、不规则的扰动,但并不影响结晶电动势的总体规律。基于本发明的方法,针对某一目标生长条纹或单次界面扰动展开研究同样具备可行性。

[0081] 与现有技术相比,本发明的探测晶体生长界面扰动的方法具有如下优点:利用电信号原位反馈晶体生长界面状态,使无法被现有手段探测到的微弱扰动、界面起伏、系统热滞等生长界面重要参数得以清晰展现,突破性解决提拉法晶体生长界面扰动检测的难题;此外,针对高品质晶体生长工艺改进的研发工作,可在晶体生长过程中实时获取改进结果,不再需要等待漫长的晶体生长周期结束,极大地压缩了研发周期,节约时间和能耗成本。

[0082] 实施例2

[0083] 基于以上晶体生长界面扰动的原位探测方法,本发明还提供了一种晶体生长界面扰动的控制方法,包括以下步骤:

[0084] W1:采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据。

[0085] 采集界面相电动势需搭建信号引出平台,具体的,从盛放晶体原料的坩埚和安放籽晶的籽晶杆分别引出电极,在提拉生长晶体的过程中,采集所述晶体和熔体间的界面相电动势。

[0086] 由于晶体生长温度较高,因此从所述坩埚引出的电极选用耐高温的材料,优选铂金或铱金材料。

[0087] 作为进一步优化的,所述籽晶杆上安装有电气滑环。因为在晶体生长过程中,籽晶杆处于旋转状态,需要增装电气滑环以方便引出旋转的籽晶杆的电信号。

[0088] W2:根据所述电信号数据的波动规律获得晶体生长界面的扰动状态。

[0089] 具体的,根据所述电信号数据的波动规律计算晶体生长界面的扰动参数,从而获得晶体生长界面的扰动状态。

[0090] 所述扰动参数具体为晶体生长系统的热滞时间、晶体生长界面的扰动周期和扰动幅度。在晶体生长过程中,热滞时间发生变化,说明由于保温系统和晶体生长系统发生变化导致晶体生长温度不稳定,从而引起晶体生长界面的波动。扰动周期和扰动幅度体现了生长界面波动的具体信息,根据扰动周期可区别不同诱因导致的生长界面波动,扰动幅度则展现了晶体与生长界面的相对运动。

[0091] 具体的,通过以下步骤获得热滞时间:

[0092] W21:实时记录晶体生长过程中的功率数据;

[0093] W22:对所述功率数据进行正弦拟合,获得拟合后的功率数据;

[0094] W23:通过计算所述电信号数据和拟合后的功率数据的相位差,获得热滞时间。

[0095] 具体的,通过以下步骤获得扰动周期和扰动幅度:

[0096] W24:从所述电信号数据中提取结晶电动势数据。

[0097] 在提拉法晶体生长系统中,界面相电动势由结晶电动势和热电动势组成。其中,结晶电动势源于晶体生长界面电荷的分布,该电荷来自晶体生长过程中的带电离子,该带电离子在生长界面的分布情况即反映了晶体生长的实际情况,因此,结晶电动势与晶体生长速度有关。热电动势由不同导电材料间的温差引起的电荷迁移产生,仅与晶体提拉高度有关,在稳定的晶体生长过程中,热电动势是线性的,不会产生明显波动。

[0098] 因此,在晶体生长过程中所采集到的电信号数据的波动现象是由结晶电动势的波

动导致,即是界面扰动引起的晶体生长速度波动的表现。

[0099] 基于上述研究,从电信号数据中提取出结晶电动势数据,用以分析晶体生长速度的变化情况。

[0100] W25:根据所述结晶电动势数据计算晶体生长速度数据。

[0101] 晶体生长过程中的宏观生长速度等同于籽晶杆的提拉速度,但在实际情况中,由于功率、对流、机械运动等因素产生的生长界面的扰动是无法避免的,这一扰动会导致晶体的生长速度发生波动。而晶体生长速度与结晶电动势直接相关,因此,可根据晶体电动势数据计算出对应的晶体生长速度数据。

[0102] W26:根据所述晶体生长速度数据的波动规律获得扰动周期和扰动幅度。

[0103] 具体的,通过直接读取所述晶体生长速度数据的波动规律的周期获得所述扰动周期;通过对所述晶体生长速度数据的波动规律的周期进行积分获得所述扰动幅度。

[0104] W3:根据获得的晶体生长界面的扰动状态调整晶体生长条件,以控制晶体生长的界面扰动。

[0105] 获得热滞时间后,可根据热滞时间实时调整晶体生长控温参数,以控制晶体生长的界面扰动。具体的,根据热滞时间可以直接计算出系统控制晶体稳定生长的PID参数,继而调整晶体生长温度,缓解由于功率起伏引起的生长界面扰动。

[0106] 获得扰动周期和扰动幅度后,可根据扰动周期区别旋转扰动、功率波动等不同诱因导致的生长界面波动,分析扰动源,可根据扰动幅度获得晶体与生长界面的相对运动,从而实时调整削弱波动的外场参数。通常可以利用外磁场、超声波、对流场或重力场的作用来缓解界面扰动现象,优化晶体生长界面。

[0107] 需要说明的是,上述利用热滞时间调整控温参数和利用扰动周期及扰动幅度调整外场参数,从而实现的对界面扰动的控制,可以分别独立进行,也可以同时进行,其相互之间不存在先后顺序关系。

[0108] 相对于现有技术,本发明利用电信号实时探测晶体生长界面的扰动情况,获得生长界面状态,由于电信号反馈非常敏感,可以克服判断滞后的缺陷,从而实时调整削弱扰动的控温参数或外场参数,改善晶体生长条件,提高晶体质量。

[0109] 实施例3

[0110] 基于以上晶体生长界面扰动的控制方法,本发明还提供了一种晶体生长界面扰动的控制系统,请参阅图4,其为本发明的晶体生长界面扰动的控制系统的示意图。该控制系统包括晶体生长界面扰动控制装置10、生长信号采集单元20和信号处理单元30。所述生长信号采集单元20采集晶体生长过程中的晶体和熔体间的界面相电动势,获得实时变化的电信号数据并将该电信号数据传输至所述信号处理单元30,所述信号处理单元30对该电信号数据进行处理,获得反馈晶体生长界面扰动的波动数据并将该波动数据传输至所述晶体生长界面扰动控制装置10。

[0111] 所述晶体生长界面扰动控制装置10包括坩埚11、籽晶杆12、温控单元13和外场控制单元14;所述温控单元13与坩埚11电连接,通过反馈坩埚11的温度以控制晶体生长温度;所述外场控制单元14设置在晶体生长系统周围,控制晶体生长系统的外场参数。

[0112] 所述生长信号采集单元20包括电极21和微伏表22,所述电极21从坩埚11和籽晶杆12分别引出,并与所述微伏表22连接。

[0113] 所述坩埚11中盛放有晶体原料经升温熔化后得到的熔体,由于晶体生长温度较高,因此从所述坩埚11引出的电极选用耐高温的材料,优选铂金或铱金材料。

[0114] 所述籽晶杆12的底部安放有籽晶,由于在晶体生长过程中,籽晶杆12处于旋转状态,作为进一步优化,所述籽晶杆12上增装电气滑环以方便引出旋转的籽晶杆12的电信号。

[0115] 所述信号处理单元30包括信号接收及分析模块31,所述信号接收及分析模块31接收所述微伏表22输出的电信号数据并将该电信号数据转换为生长界面波动数据传输至所述温控单元13或外场控制单元14。

[0116] 具体的,所述外场控制单元14可以利用磁场、超声波、对流场或重力场实时调整削弱扰动的外场参数,优化晶体生长界面。

[0117] 所述信号处理单元30还包括一PID控制器32,所述PID控制器32接收所述微伏表22输出的电信号数据和温控单元13输出的功率数据,并计算所述电信号数据与功率数据的相位差获得控温参数,并将该控温参数输出至所述温控单元13。

[0118] 具体的,PID控制器32计算所述电信号数据与功率数据的相位差,获得热滞时间,并根据该热滞时间实时调整控温参数,以控制所述温控单元13调整晶体生长温度。

[0119] 相对于现有技术,本发明的晶体生长界面扰动的控制系统可实时调整控温参数或外场参数,以缓解界面扰动,优化晶体生长界面;且该控制系统的硬件设施装配简单,避免了复杂的机械结构对设备造成的负担,可有效减小晶体生长系统的不稳定因素。

[0120] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。

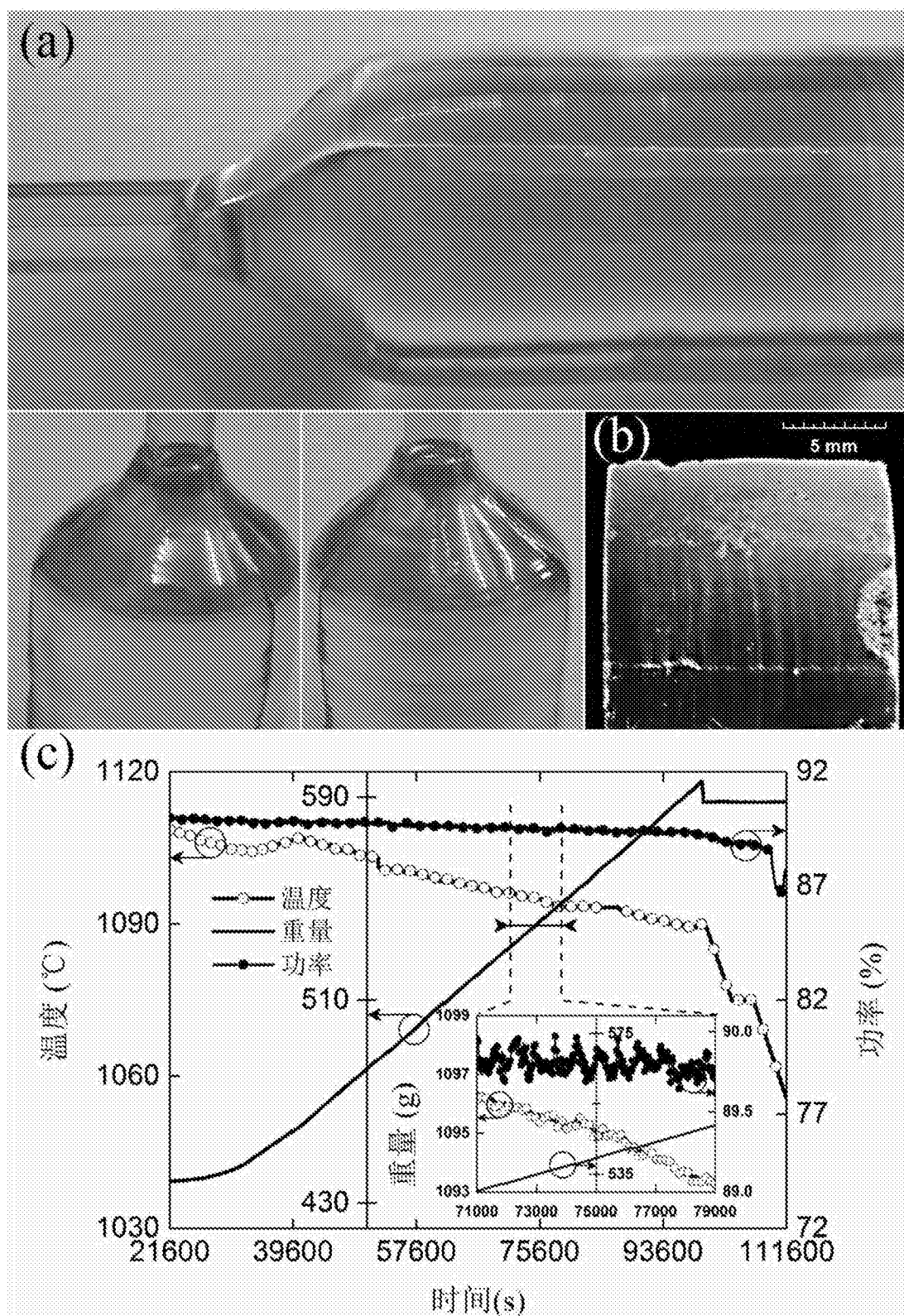


图1

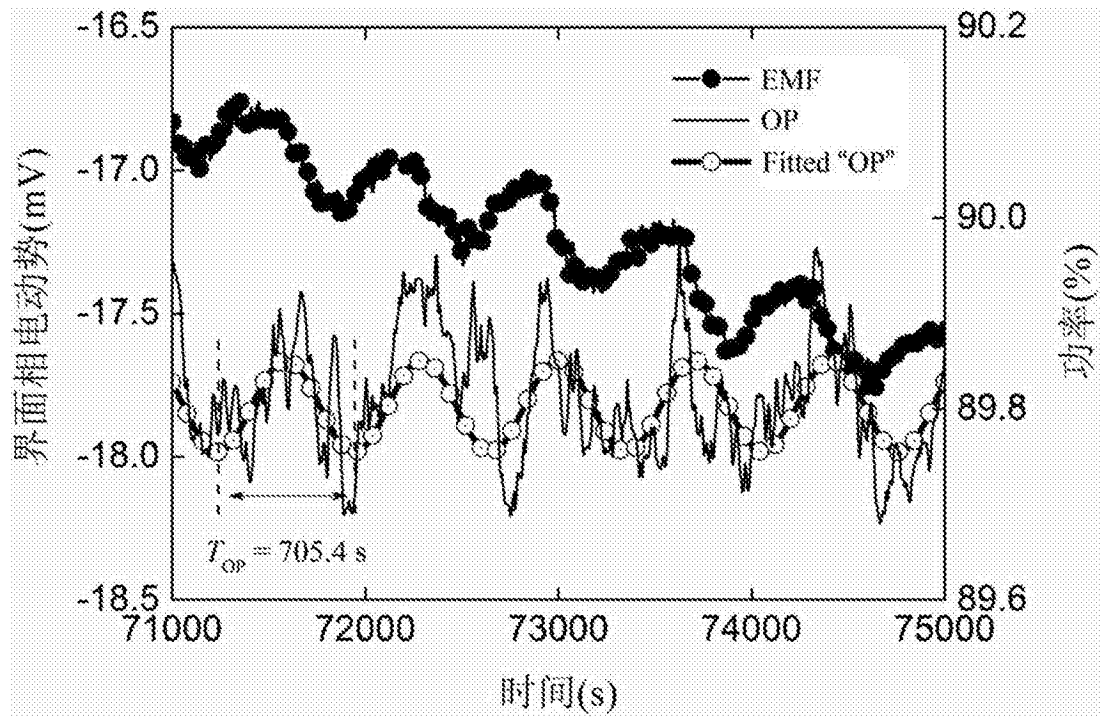


图2

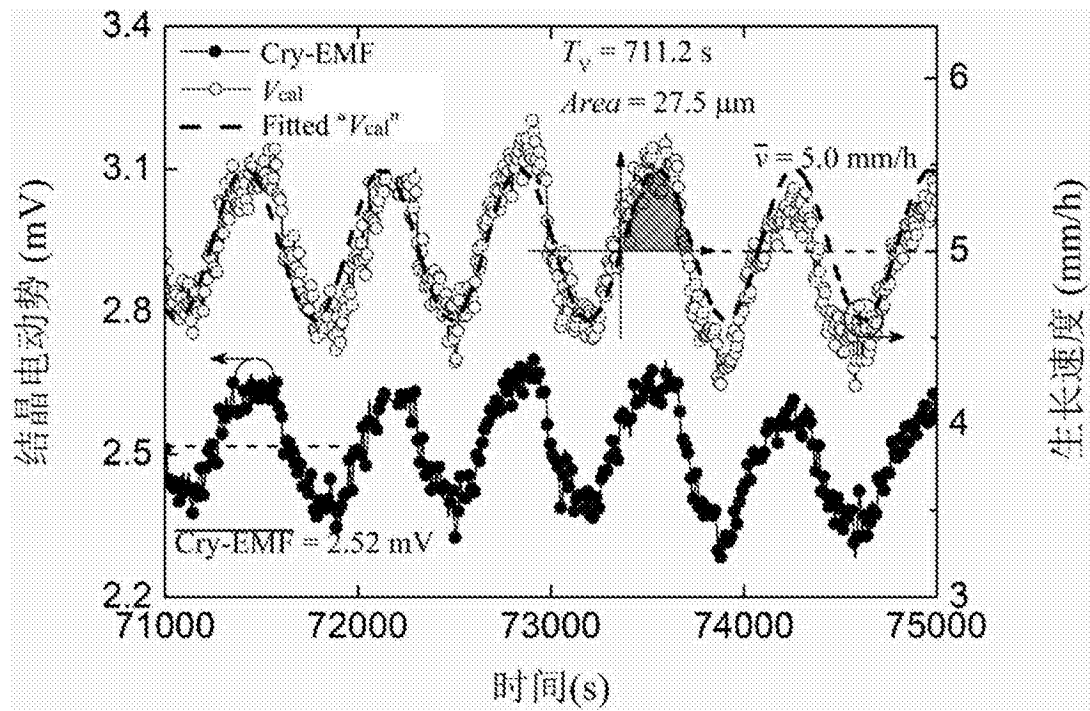


图3

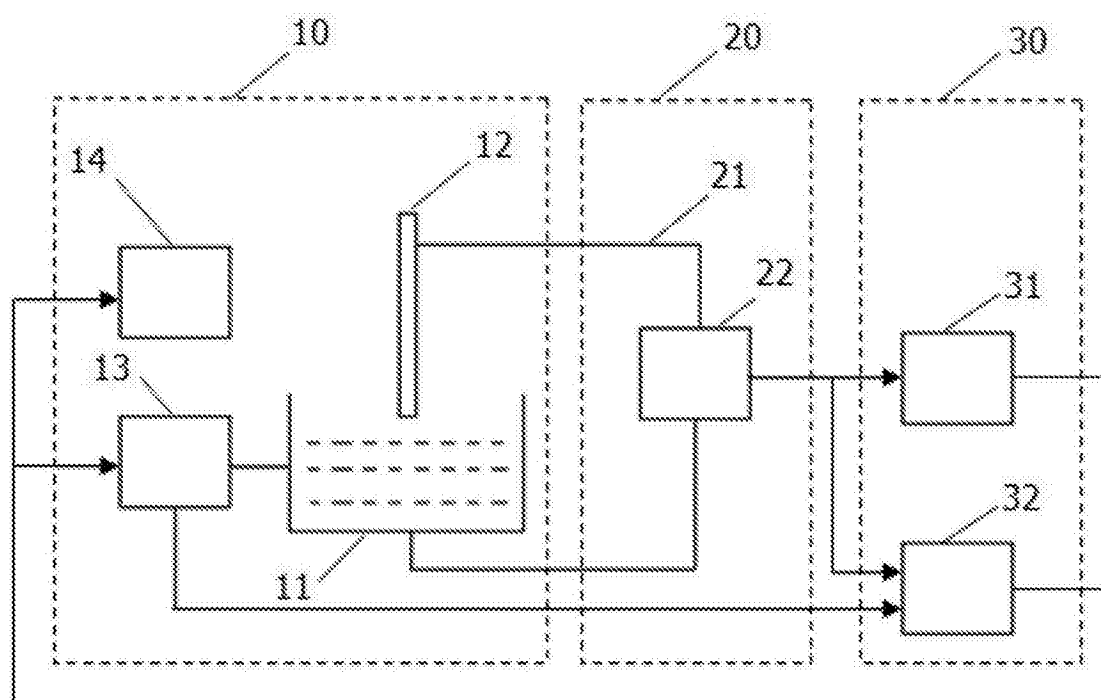


图4