



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 119827120 B

(45) 授权公告日 2025. 10. 14

(21) 申请号 202510007534.5

G06F 17/18 (2006.01)

(22) 申请日 2025.01.03

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

DE 3403457 A1, 1984.08.02

申请公布号 CN 119827120 A

JP 2009162991 A, 2009.07.23

(43) 申请公布日 2025.04.15

审查员 户倩玉

(73) 专利权人 中国科学院南京天文光学技术研究  
所

地址 211199 江苏省南京市江宁区麒麟街  
道创优路299号

(72) 发明人 赵刚 牛炳力 窦江培 张熙  
袁保宁 李文龙 陈祎力 吕中华

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207  
专利代理师 李湘群

(51) Int. Cl.

G01M 11/02 (2006.01)

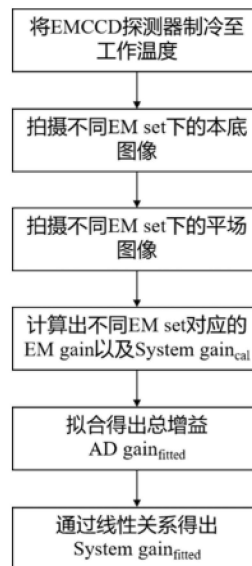
权利要求书2页 说明书3页 附图3页

## (54) 发明名称

一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,包括以下步骤:选择一个完全遮光的实验环境;启动EMCCD探测器并制冷至工作温度,等待探测器工作状态稳定;获取EMCCD探测器在不同倍增设置值(EM set)下的本底图像;调整积分球光强并保持恒定,采集EMCCD探测器在不同EM set下的平场图像;计算不同EM set对应的倍增增益值与转换增益的计算值;通过拟合得出总增益的拟合值;通过线性关系得出不同EM set下对应的转换增益的拟合值。本发明可以有效降低公式计算方法带来的误差,确保了转换增益结果的准确性与可靠性,有助于定期监测EMCCD探测器健康状态的变化,具有广泛的应用前景。



1. 一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,其特征在於,包括以下步骤:

步骤(1)、将EMCCD探测器放置于暗室环境中,给探测器上电,并将探测器制冷至工作温度,使探测器达到稳定工作状态;

步骤(2)、将EMCCD探测器的曝光时间调整至最小,采集不同倍增设置值EM set下的本底 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像,每个EM set下采集不少于n幅 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像;

步骤(3)、调整积分球光强并保持恒定,将EMCCD探测器的曝光时间调整为 $\text{expt}_{\text{Gm}}$ ,采集不同EM set下的平场 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像,每个EM set下采集不少于n幅 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像;

步骤(4)、利用步骤(2)和步骤(3)拍摄的 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像和 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像计算得出不同EM set下对应的倍增增益值EM gain与转换增益的计算值 $\text{System gain}_{\text{cal}}$ ;所述步骤(4)的计算方法包括如下公式:

$$\text{EM gain} = \frac{\overline{\text{flat}_{\text{Gm}}} - \overline{\text{bias}_{\text{Gm}}}}{\overline{\text{flat}_1} - \overline{\text{bias}_1}} \times \frac{\text{expt}_1}{\text{expt}_{\text{Gm}}};$$

$$S_{\text{Gm}} = \frac{(\overline{\text{flat}_{\text{Gm}1}} + \overline{\text{flat}_{\text{Gm}2}}) - (\overline{\text{bias}_{\text{Gm}1}} + \overline{\text{bias}_{\text{Gm}2}})}{2};$$

$$\sigma_{\text{Gm}}^2 = \frac{\sigma_{\overline{\text{flat}_{\text{Gm}1}} - \overline{\text{flat}_{\text{Gm}2}}}^2 - \sigma_{\overline{\text{bias}_{\text{Gm}1}} - \overline{\text{bias}_{\text{Gm}2}}}^2}{2};$$

$$\text{System gain}_{\text{cal}} = \left(2 - \frac{1}{\text{EM gain}}\right) \times \frac{S_{\text{Gm}}}{\sigma_{\text{Gm}}^2};$$

上述公式中 $\overline{\text{flat}_{\text{Gm}}}$ 和 $\overline{\text{bias}_{\text{Gm}}}$ 分别表示在EM set下拍摄的所有 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像的均值以及所有 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像的均值; $\overline{\text{flat}_1}$ 和 $\overline{\text{bias}_1}$ 分别代表1倍EM gain对应的EM set下拍摄的所有 $\text{flat}_1$ 图像的均值以及所有 $\text{bias}_1$ 图像的均值; $\text{expt}_{\text{Gm}}$ 和 $\text{expt}_1$ 分别代表拍摄 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 和 $\text{flat}_1$ 时采用的曝光时间; $\overline{\text{flat}_{\text{Gm}1}}$ 和 $\overline{\text{flat}_{\text{Gm}2}}$ 分别表示在EM set下拍摄的所有奇数幅 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像的均值和偶数幅 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像的均值,同理, $\overline{\text{bias}_{\text{Gm}1}}$ 和 $\overline{\text{bias}_{\text{Gm}2}}$ 分别表示在EM set下拍摄的所有奇数幅 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像的均值和偶数幅 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像的均值; $\sigma_{\overline{\text{flat}_{\text{Gm}1}} - \overline{\text{flat}_{\text{Gm}2}}}^2$ 代表 $\overline{\text{flat}_{\text{Gm}1}}$ 与 $\overline{\text{flat}_{\text{Gm}2}}$ 相减结果的方差,同理, $\sigma_{\overline{\text{bias}_{\text{Gm}1}} - \overline{\text{bias}_{\text{Gm}2}}}^2$ 代表 $\overline{\text{bias}_{\text{Gm}1}}$ 与 $\overline{\text{bias}_{\text{Gm}2}}$ 相减结果的方差;

步骤(5)、利用步骤(4)中EM gain和 $\text{System gain}_{\text{cal}}$ 的计算结果,通过线性关系拟合得出总增益 $\text{AD gain}_{\text{fitted}}$ ;所述步骤(5)的计算方法包括如下公式:

$$\text{AD gain} = \text{EM gain} \times \text{System gain}_{\text{cal}};$$

$$\text{System gain}_{\text{fitted}} = \frac{\text{AD gain}_{\text{fitted}}}{\text{EM gain}};$$

步骤(6)、根据步骤(5)中 $\text{AD gain}_{\text{fitted}}$ 的拟合结果,通过线性关系得出不同EM set下对应的转换增益的拟合值 $\text{System gain}_{\text{fitted}}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,其特征在於:所述步骤(1)中的暗室环境以及稳定工作状态是指探测器的测试环境无杂散光的干扰、环境温度保持稳定,探测器处于预设制冷温度状态。

3. 根据权利要求1所述的一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,其特征在於:所述步骤(2)、(3)中的 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像数和 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像数满足 $n \geq 20$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,其特征  
在于:所述步骤(2)中的EM set的大小满足使EM gain的大小覆盖1倍至最大倍增大倍数  
范围,EM set之间的间隔根据测试需求自主选择。

5. 根据权利要求1所述的一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,其特征  
在于:所述步骤(3)中积分球的光强保证EMCCD探测器工作在线性响应区间,且各EM set在  
曝光时间 $\text{expt}_{G_m}$ 下采集的 $\text{flat}_{G_m}$ 图像不饱和。

6. 根据权利要求1所述的一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,其特征  
在于:所述步骤(3)中通过调整曝光时间 $\text{expt}_{G_m}$ 的大小,使得不同EM set条件下采集的  
 $\text{flat}_{G_m}$ 图像的灰度DN值基本保持一致。

## 一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光电元器件测试技术领域,提出一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法。

### 背景技术

[0002] 转换增益是用来调整探测器电荷与灰度值之间比例关系的参数。通过调整转换增益,可以控制图像的亮度和对比度,以适应不同的拍摄条件和需求。通过计算转换增益可以建立探测器电荷与图像灰度值之间的定量关系,对于实现定量分析、图像处理和相机性能定标等应用具有重要意义。转换增益计算方法通常采用经验公式法,但在实际情况下,由于相机传感器的非均匀性、噪声和非线性响应等因素的影响,这种方法的计算结果可能与实际情况存在一定的偏差。因此,传统公式法在计算转换增益时存在一定的局限性和不确定性。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,该方法能够更好地适应探测器自身的响应特性,准确捕捉电子与灰度值之间的线性关系,从而提供更准确的转换增益结果。

[0004] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0005] 一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤(1)、将EMCCD探测器放置于暗室环境中,防止杂散光的干扰,给探测器上电,并将探测器制冷至工作温度,使探测器达到稳定工作状态。

[0007] 步骤(2)、将EMCCD探测器的曝光时间调整至最小,采集不同倍增设置值(EM set)下的本底( $\text{bias}_{\text{Gm}}$ )图像,每个EM set下采集不少于n幅 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像。

[0008] 步骤(3)、调整积分球光强并保持恒定,将EMCCD探测器的曝光时间调整为 $\text{expt}_{\text{Gm}}$ ,采集不同EM set下的平场( $\text{flat}_{\text{Gm}}$ )图像,每个EM set下采集不少于n幅 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像。

[0009] 步骤(4)、利用步骤(2)和步骤(3)拍摄的 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像和 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像计算得出不同EM set下对应的倍增增益(EM gain)值与转换增益的计算值( $\text{System gain}_{\text{cal}}$ )。

[0010] 步骤(5)、利用步骤(4)中EM gain和 $\text{System gain}_{\text{cal}}$ 的计算结果,通过线性关系拟合得出总增益( $\text{AD gain}_{\text{fitted}}$ )。

[0011] 步骤(6)、根据步骤(5)中 $\text{AD gain}_{\text{fitted}}$ 的拟合结果,通过线性关系得出不同EM set下对应的转换增益的拟合值( $\text{System gain}_{\text{fitted}}$ )。

[0012] 本发明的有益效果是,能够更好地适应探测器自身的响应特性,准确捕捉电子与灰度值之间的线性关系,从而提供更精确、可靠的转换增益计算结果。同时,通过统计学方法评估拟合结果的可靠性,进一步提高了方法的准确性和可靠性。因此,本发明的线性拟合方法在图像处理、定量分析和探测器性能校准等应用中具有重要的优势和应用价值。

## 附图说明

[0013] 下面结合附图和具体实施例对本发明进一步说明：

[0014] 图1是本发明的原理示意图；

[0015] 图2是本发明的流程图；

[0016] 图3是本发明的实际测试效果图；其中，(a) 是转换增益拟合结果图，(b) 是系统增益实测值与理论值的对比图。

## 具体实施方式

[0017] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步描述。

[0018] 如图1-2所示，本发明提供一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法，包括以下步骤：

[0019] 步骤(1)、将待测EMCCD探测器放置于暗室环境中，遮盖探测器的镜头防止杂散光的干扰，给探测器上电，并将探测器制冷至工作温度，使探测器达到稳定工作状态。该步骤应严格控制杂散光以确保后续计算结果的准确性。

[0020] 步骤(2)、将EMCCD探测器的曝光时间调整至最小，采集不同EM set下的 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像，EM set的大小满足使EM gain的大小覆盖1倍至最大倍数范围(本发明中最大EM gain为1000倍)，EM set的设置间隔可根据测试需求自主确定，每个EM set下采集不少于n幅 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像( $n \geq 20$ )。

[0021] 步骤(3)、调整积分球光强并在整个测试过程中保持光强恒定，采集不同EM set下的 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像，拍摄 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像所选择的EM set应与步骤(2)中拍摄 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像所选择的EM set保持一致；拍摄 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像时，在不同EM set下EMCCD探测器的曝光时间应调整为 $\text{expt}_{\text{Gm}}$ ，且 $\text{expt}_{\text{Gm}}$ 的大小满足：①EMCCD探测器仍处于线性响应区间，不同EM set下采集的 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像未饱和溢出；②不同EM set下采集的 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像DN值应该尽量保持一致。每个EM set下采集不少于n幅 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像( $n \geq 20$ )。

[0022] 步骤(4)、利用步骤(3)拍摄的 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像和 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像计算得出不同EM set下对应的倍增增益(EM gain)值与转换增益的计算值(System gain<sub>cal</sub>)。具体计算方法参照如下公式：

$$\text{EM gain} = \frac{\overline{\text{flat}_{\text{Gm}}} - \overline{\text{bias}_{\text{Gm}}}}{\overline{\text{flat}_1} - \overline{\text{bias}_1}} \times \frac{\text{expt}_1}{\text{expt}_{\text{Gm}}}$$

$$S_{\text{Gm}} = \frac{(\overline{\text{flat}_{\text{Gm}1}} + \overline{\text{flat}_{\text{Gm}2}}) - (\overline{\text{bias}_{\text{Gm}1}} + \overline{\text{bias}_{\text{Gm}2}})}{2}$$

[0023]

$$\sigma_{\text{Gm}}^2 = \frac{\sigma_{\overline{\text{flat}_{\text{Gm}1}} - \overline{\text{flat}_{\text{Gm}2}}}^2 - \sigma_{\overline{\text{bias}_{\text{Gm}1}} - \overline{\text{bias}_{\text{Gm}2}}}^2}{2}$$

$$\text{System gain}_{\text{cal}} = \left(2 - \frac{1}{\text{EM gain}}\right) \times \frac{S_{\text{Gm}}}{\sigma_{\text{Gm}}^2}$$

[0024] 上述公式中 $\overline{\text{flat}_{\text{Gm}}}$ 和 $\overline{\text{bias}_{\text{Gm}}}$ 分别表示在EM set下拍摄的所有 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像的均值以及所有 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像的均值； $\overline{\text{flat}_1}$ 和 $\overline{\text{bias}_1}$ 分别代表1倍EM gain对应的EM set下拍摄的所有 $\text{flat}_1$ 图像的均值以及所有 $\text{bias}_1$ 图像的均值； $\text{expt}_{\text{Gm}}$ 和 $\text{expt}_1$ 分别代表拍摄 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 和 $\text{flat}_1$ 时

采用的曝光时间。 $\overline{\text{flat}}_{\text{Gm1}}$ 和 $\overline{\text{flat}}_{\text{Gm2}}$ 分别表示在EM set下拍摄的所有奇数幅 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像的均值和偶数幅 $\text{flat}_{\text{Gm}}$ 图像的均值,同理, $\overline{\text{bias}}_{\text{Gm1}}$ 和 $\overline{\text{bias}}_{\text{Gm2}}$ 分别表示在EM set下拍摄的所有奇数幅 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像的均值和偶数幅 $\text{bias}_{\text{Gm}}$ 图像的均值。 $\sigma_{\overline{\text{flat}}_{\text{Gm1}}-\overline{\text{flat}}_{\text{Gm2}}}^2$ 代表 $\overline{\text{flat}}_{\text{Gm1}}$ 与 $\overline{\text{flat}}_{\text{Gm2}}$ 相减结果的方差,同理, $\sigma_{\overline{\text{bias}}_{\text{Gm1}}-\overline{\text{bias}}_{\text{Gm2}}}^2$ 代表 $\overline{\text{bias}}_{\text{Gm1}}$ 与 $\overline{\text{bias}}_{\text{Gm2}}$ 相减结果的方差。

[0025] 步骤(5)、利用步骤(4)中EM gain和System gain<sub>cal</sub>的计算结果,计算出不同多个AD gain,具体计算方法参照如下公式:

[0026]  $\text{AD gain} = \text{EM gain} \times \text{System gain}_{\text{cal}}$

[0027] 步骤(6)、根据步骤(5)中AD gain的计算结果,通过最小二乘法线性关系拟合得出总增益的拟合值(AD gain<sub>fitted</sub>),然后,利用AD gain<sub>fitted</sub>求解得出转换增益的拟合值(System gain<sub>fitted</sub>),具体计算方法参照如下公式:

[0028] 
$$\text{System gain}_{\text{fitted}} = \frac{\text{AD gain}_{\text{fitted}}}{\text{EM gain}}$$

[0029] 图3是本发明的实际测试效果图。从图中可以看出,理论曲线与实测曲线基本重合,这表明本方法更好地适应了探测器的响应特性,准确捕捉了电子与灰度值之间的线性关系。通过将理论分析与实际测试相结合,本方法有效确保了探测器转换增益拟合结果的准确性和可靠性。

[0030] 综上所述,本发明提供了一种通过线性拟合求解EMCCD探测器转换增益的方法,包括以下步骤:a)选择一个完全遮光的实验环境,以避免杂散光的干扰;b)将EMCCD探测器启动待机,并制冷至工作温度,等待探测器工作状态稳定;c)获取EMCCD探测器在不同不同倍增设置值(EM set)下的本底图像( $\text{bias}_{\text{Gm}}$ );d)调整积分球光强并保持恒定,采集EMCCD探测器在不同EM set下的平场图像( $\text{flat}_{\text{Gm}}$ );e)计算出不同EM set对应的倍增增益(EM gain)以及转换增益的计算值(System gain<sub>cal</sub>);f)通过拟合得出总增益的拟合值(AD gain<sub>fitted</sub>);g)通过线性关系得出转换增益的拟合值(System gain<sub>fitted</sub>)。通过这种方法,可以有效降低公式计算方法带来的误差,确保了转换增益结果的准确性与可靠性,有助于定期监测EMCCD探测器健康状态的变化,具有广泛的应用前景。

[0031] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制;任何熟悉本领域的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围情况下,都可利用上述揭示的方法和技术内容对本发明技术方案做出许多可能的变动和修饰,或修改为等同变化的等效实施例。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同替换、等效变化及修饰,均仍属于本发明的保护范围内。

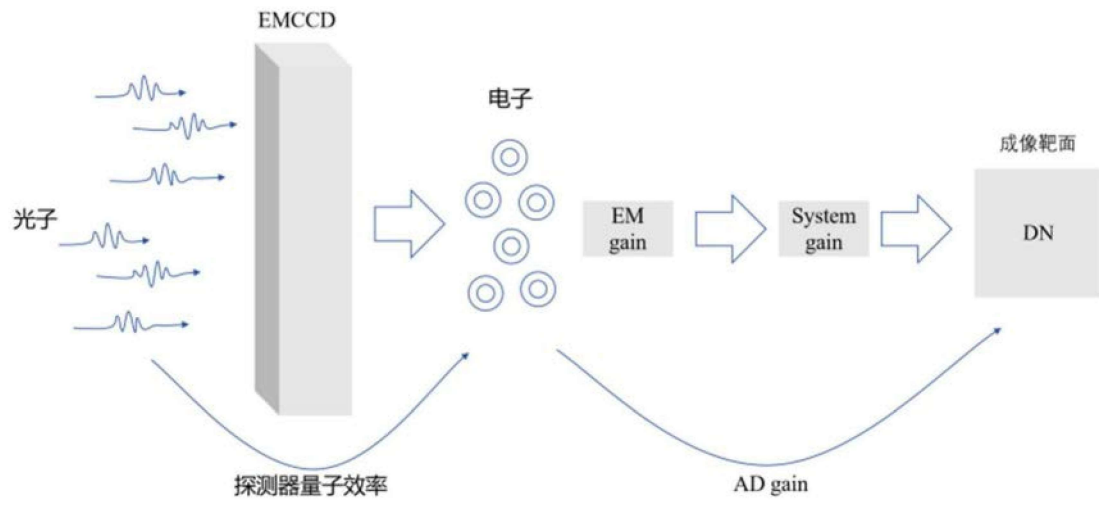


图1

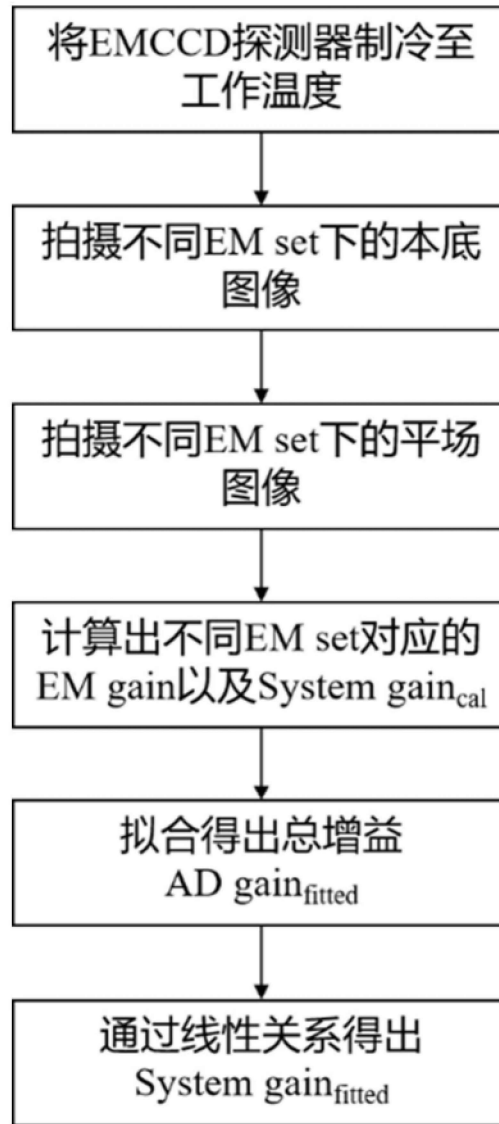
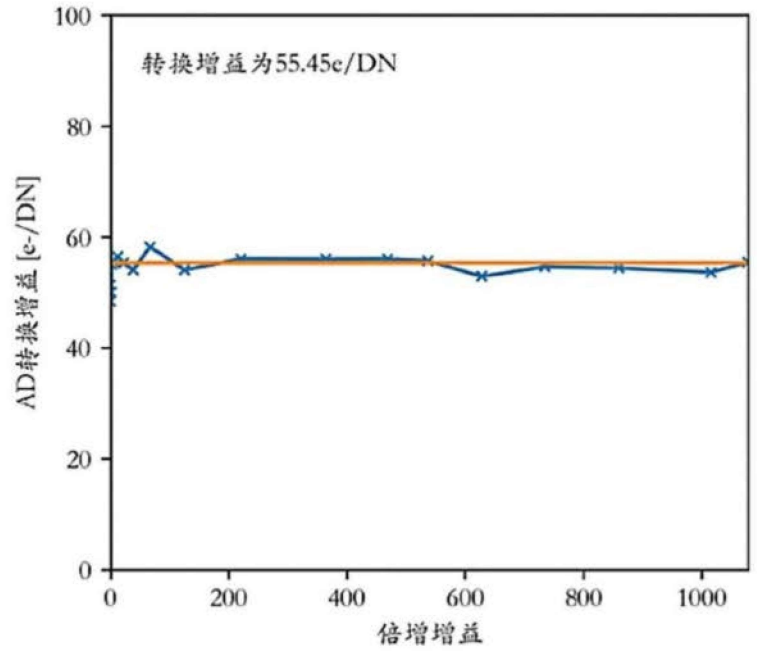
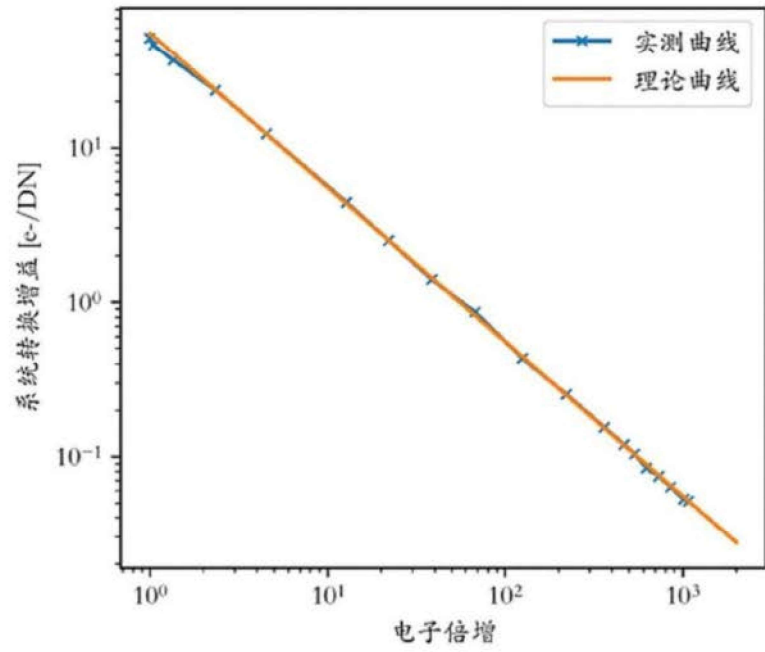


图2



(a)



(b)

图3