

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

H01L 21/66

G01R 31/26 G01R 31/28



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03129326.3

[43] 公开日 2005 年 1 月 19 日

[11] 公开号 CN 1567555A

[22] 申请日 2003.6.18 [21] 申请号 03129326.3

[71] 申请人 中国科学院上海原子核研究所

地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路 2019 号

[72] 发明人 陆荣荣 裘惠源 曹建清

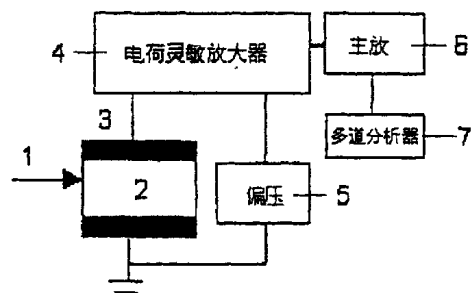
[74] 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司  
代理人 肖剑南

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

[54] 发明名称 侧向离子束诱导电荷显微分析技术

[57] 摘要

本发明公开一种侧向离子束诱导电荷显微分析技术，用于测量半导体器件的微区电学特性，主要包括以下步骤：提供一微米 MeV 的离子束；将该离子束沿半导体器件侧面入射在该器件上；收集并分析由该离子束诱导产生的载流子脉冲信号。本发明微米离子束从半导体器件电极的侧面入射，所以避免了电荷漏斗效应，而且采用 fA 量级低离子束流，从而根本上克服了 MeV 离子束对分析器件带来的损伤问题。



1、一种侧向离子束诱导电荷显微分析技术，用于测量半导体器件的微区电学特性，其特征在于，它包括以下步骤：

提供一微米 MeV 的离子束；

将该离子束沿半导体器件侧面入射在该器件上；

收集并分析由该离子束诱导产生的载流子脉冲信号。

2、如权利要求 1 所述的技术，其特征在于，所述的微米 MeV 离子束具有 fA 量级低束流强度。

3、一种利用扫描透射离子显微技术来鉴别 fA 量级低束流强度离子束的方法，其特征在于，它包括以下步骤：

通过调节聚集电流来聚集离子束；

将 1000 目的铜网移到束流方向并使束流扫描；

在探测器和束流方向成 30 度时使透射通过铜网的离子计数率为 500—1000/s；

朝束流入射方向移动探测器并调节使计数率表的读数小于 6000/s，直至探测器和束流方向成 0 度。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，还包括将所述聚集离子束流强度由初始的 100pA 调节到最终所需的 fA 量级的步骤。

5、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述的探测器是 Au(Si) 面垒探测器。

6、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，调节离子计数率的步骤还包括调节加速器速度选择器及质子探针束线上的物孔和光阑孔的步骤。

## 侧向离子束诱导电荷显微分析技术

### 技术领域

本发明涉及测量半导体微区电学特性的技术，特别地涉及用微米离子束从半导体器件电极侧面入射并诱导产生载流子而对该半导体器件的微区电学特性进行测量的技术。

### 背景技术

微区电学特性已成为一些新型半导体器件投入实际应用的决定要素，它主要包括电荷收集效率（激发源在被研究器件中产生的载流子数与电极上收集得到的电子、空穴对数的比值）、载流子的收集长度、迁移率和寿命等。例如：为探索新的物理现象、寻找未知粒子，一第列新型的加速器得到了飞速的发展，由此带来的问题是常规的探测器如何能够承受起高流量的粒子流长时辐照。与常规的 Si、GaAs 半导体探测器相比，金刚石薄膜具有大禁带宽（5.45eV）、高击穿电场（ $10^6-10^7\text{V}\cdot\text{cm}^{-1}$ ）等奇异特性，用它做成的探测器有望成为高辐射、高计数率环境下的理想探测器。然而天然金刚石价格昂贵；而化学气相沉积（CVD）金刚石探测器微区电学性能和载流子在其中运输的物理机制现还知之甚少，成为其投入实际应用的“瓶颈”。再比如：航天器件中所用的超大规模集成电路在不断小型化，由此带来的严重问题是高能宇宙射线、高能中子、质子等对其的辐射损伤问题，特别是会引起其材料芯片局域状态的翻转(SEU)，从而使其整个材料的功能失效，如何能够灵敏有效地对这些微电子材料的抗辐射性能进行合理评价，特别是其状态灵敏翻转区进行精确定位，是材料科学家必需面对的课题。

早期人们曾用放射源垂直于被研究器件的电极方向入射，利用射线在材料中产生的载流子在电极上所收集，并通过统计的方法来研究大批同类半导体器件的电学特性。然而该方法并不能真正了解半导体器件的微区局部电学特性以及载流子在其中运动的物理机制；特别是放射源垂直于被研

究材料的电极方向入射易产生等离子体柱，它与载流子的运动方向相同，从而使载流子的俘获几率大大增加，这就是所谓的电荷漏斗效应，因此该方法得到的电学特性不是所研究器件的真正的电学特性。与放射源辐射诱导电荷技术相类似较为成熟的技术有：电子束诱导电荷技术（EBIC）、同步辐射光诱导电荷技术（OBIC）。建立在扫描电子探针上的 EBIC 可以对半导体器件表层的微区电学特性进行研究，然而受电子的穿透本领的限制，EBIC 对半导体器件深层次的电学特性研究仍旧无能为力。对于 OBIC 技术，由于同步辐射光在材料入射方向成指数衰减，它也不能真正反映半导体器件的微区电学特性。

### 发明内容

本发明的目的是提供一种既能克服电荷漏斗效应又能真正反应半导体器件微区电学特性的侧向离子束诱导电荷显微分析技术。

为实现上述目的，本发明提供一种离子束诱导电荷显微分析技术，用于测量半导体器件的微区电学特性，其特点在于，它包括以下步骤：提供一微米 MeV 离子束；将该离子束沿半导体器件侧面入射到该器件上；收集并分析由该离子束诱导产生的载流子脉冲信号。

所述的微米 MeV 离子束具有 fA 量级低束流强度。

本发明还提供一种利用扫描透射离子显微技术来鉴别所述的低束流离子束的方法，其特点在于，它包括以下步骤：通过调节聚集电流来聚集离子束；将 1000 目的铜网移到束流方向并使束流扫描；在探测器和束流方向成 30 度时使透射通过铜网的离子计数率为 500—1000/s；朝束流入射方向移动探测器并调节使计数率表的读数小于 6000/s，直至探测器和束流方向成 0 度。

所述聚集离子束流强度由初始的 100pA 调节到最终所需的 fA 量级。

所述的探测器是 Au(Si)面垒探测器。

调节离子计数率的步骤还包括调节加速器速度选择器及质子探针束线上的物孔和光阑孔的步骤。

本发明利用微米大小束斑的 MeV 离子束在样品中具有的高贯穿、低发散的本领，以及离子束在样品中的能量损失主要集中在射程末端的特点，这样微米离子束对样品的特性测量可以深入样品内部。另外，为了避

免电荷漏斗效应（载流子的俘获、重组），微米离子束从半导体器件电极的侧面入射，这样有利于离子束在器件中产生的载流子的有效收集，因此本发明可以更好地真正反映新型半导体器件的微区电学特性。

### 附图说明

图 1 是本发明技术所用装置示意图。

图 2 是本发明技术在 $-400\text{V}$ 偏压下收集效率在扫描区域的分布图。

图 3 是本发明技术在 $-400\text{V}$ 偏压下收集效率分布曲线及拟合曲线图。

图 4 是图 3 所示拟合收集效率曲线得到的载流子的收集长度、迁移率与寿命的积在生长方向的分布图。

图 5 是本发明技术得到的载流子的平均收集长度与偏压的关系图。

### 具体实施方式

由图 1 所示的本发明技术所用装置示意图可知，本发明技术包括：使离子束 1 入射在半导体器件 2 上，通过在该器件 2 两端的电极 3 收集其由该离子束 1 诱导产生的载流子，再依次经过与电极 3 相连的电荷灵敏放大器 4 及主放大器 6 放大后由多道分析器 7 进行分析，其结果则反映了该半导体器件的微区电学特性。

本发明在上海扫描质子微探针装置上利用 MeV 微米离子束在样品中具有的高贯穿、低发散的本领，以及离子束在样品中的能量损失主要集中在射程末端的特点，使得本发明对样品特性测量可以深入样品内部。但是，为了避免高能（MeV）离子束对半导体器件的辐射损伤，本发明技术所用的离子束是低束流强度（fA 量级）的 MeV 微米离子束。

由于 fA 量级的低束流不能用荧光玻璃来直接观察，为此，本发明技术还提供了一种利用扫描透射离子显微技术的高探测效率的特点鉴别低束流离子束的方法，具体如下：

首先利用荧光片，在显微镜下观察束斑情况。通过聚集电流的调节，来聚集离子束。这时束流强度通常为  $100\text{pA}$ 。将 1000 目的铜网移到束流方向，启动离子扫描程序，使束流在某一范围内扫描。然后将 Au(Si)面垒探测器移到和束流方向成  $30^\circ$  角处，调节加速器面板上的速度选择器及质子探针束线上的物孔和光阑孔，观察与 Au(Si)相连的计数率表，使透射

通过铜网的离子计数率为每秒 500—1000 个。实验中如果计数率很大，应立即挡住束流，以免损伤探测器。随后朝束流入射方向慢慢移动探测器，再调节加速器面板上的速度选择器以及质子微探针束线上的物孔和光阑孔，使计数率表的读数小于 6000/s，直至探测器和束流方向成  $0^\circ$ 。最后可以将被分析半导体器件的感兴趣区域移到束流方向，进行侧向离子束诱导电荷显微研究。

另外，为了避免上述现有技术的电荷漏斗效应（截流子的俘获、重组），本发明技术采用使微米离子束从半导体器件电极的侧面入射，也就是说，在本发明中，离子束入射的方向是垂直于半导体器件内部电场的方向。显然，这样有利于离子束在器件中产生的截流子的有效收集，从而使本发明可以更好地真正反映新型半导体器件的微区电学特性。

由上所述，本发明技术首先在于提供一离子束，该离子束是一种微米 MeV 的离子束并且具有低束流强度（fA），然后将该离子束沿半导体器件侧面入射，也即垂直于半导体器件内部电场的方向入射，最后收集并分析在器件中所诱导产生的截流子。

因此本发明具有以下特点：

- (1) 微米离子束从半导体器件电极的侧面入射，避免了电荷漏斗效应，即载流子的俘获、重组。
- (2) 利用 MeV 离子束具有高贯穿、低发散的本领，这样离子束可以以较高空间分辨率对器件内部的微区电学特性直接测量。
- (3) 离子束诱导电荷显微分析技术采用 fA 量级低离子束流，从根本上克服了 MeV 离子束对分析器件带来的损伤问题。

下面给出本发明技术在 CVD 金刚石薄膜微区电学性能测定的应用实例。

CVD 金刚石颗粒沿薄膜生长方向呈柱状结构，利用本发明对其微区电学特性测定时必须对其生长面和衬底面进行抛光，并分别喷镀 Ti/Au 电极。本实施例所用 CVD 金刚石为 Norton 公司的样品，样品厚  $200\ \mu\text{m}$ 。用 3MeV 质子（束斑大小  $2\ \mu\text{m}$ ），束流强度 200p/s，从样品侧面进行扫描，扫描区域为  $200\times 500\ \mu\text{m}^2$ ；在实验测定时生长面电极上加不同极性的偏压，而衬

底面电极接地。

图 2 给出的是偏压在  $-400\text{V}$  情况下收集效率在扫描区域的分布图，其中左侧为生长面，右侧为衬底面，显示收集效率沿生长方向呈柱状分布。

对分布图沿生长方向投影可以得到收集效率在样品生长方向的分布曲线（见图 3 的实线）。根据 Ramo 定理，对收集效率分布曲线进行拟合。图 3 的实心圈和空心圈分别为电子、空穴对收集效率曲线的贡献，而实心圈 + 实线为拟合得到的载流子对收集效率曲线的总贡献。由图可见，电子为收集效率的主要贡献者。

图 4 为拟合收集效率曲线得到的载流子的收集长度、迁移率与寿命的积（ $\mu \tau$ ）以及内部电场强度在生长方向的分布曲线。由该收集长度分布曲线可以计算得到平均收集长度约为  $100 \mu\text{m}$ ，此值远好于天然金刚石的情况。

图 5 为不同偏压情况下载流子的平均收集长度情况。在偏压  $-400\text{V}$ （对  $200 \mu\text{m}$  厚样品），电场强度平均值为  $2\text{V}/\mu\text{m}$  时总的平均收集长度  $\langle L_e \rangle + \langle L_h \rangle$  为  $100 \mu\text{m}$ 。因此对  $1\text{V}/\mu\text{m}$  的电场强度， $\langle L_e \rangle + \langle L_h \rangle$  约为  $50 \mu\text{m}$ 。

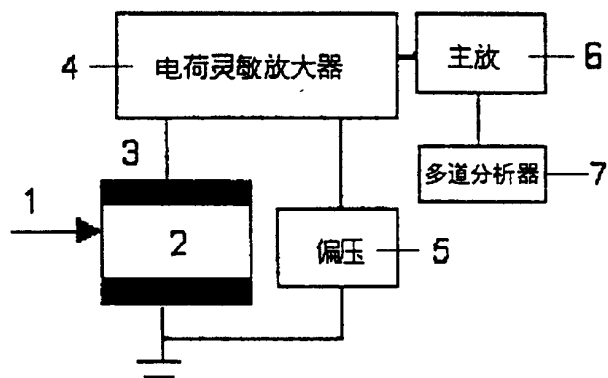


图1

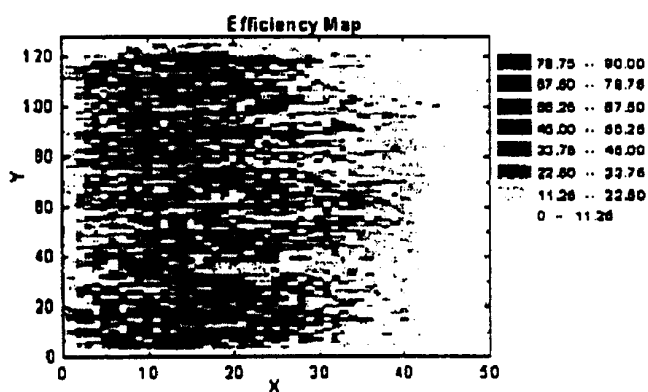


图2

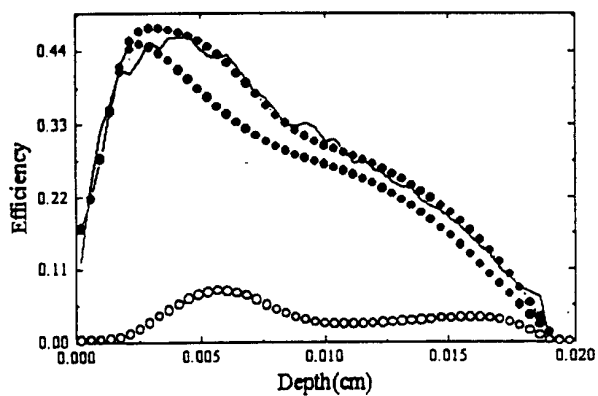


图3



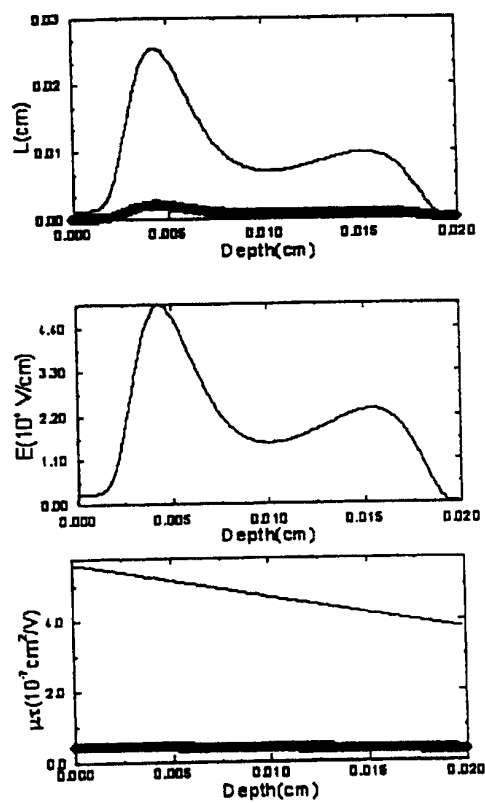


图4

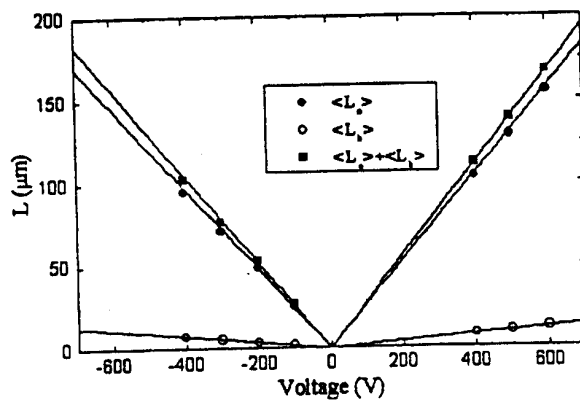


图5