

研究简报

MeV He⁺ 微束用于半导体 集成电路的微区分析

朱沛然 刘家瑞

(中国科学院物理研究所)

张敬平 殷士端

(中国科学院半导体研究所)

1986年12月9日收到

本文介绍了我国用于微区分析的 MeV 离子微探针设备及其在半导体集成电路中的应用，能量为 2MeV 的 He⁺ 束通过一套限束系统，然后由四单元四极磁透镜聚焦到样品表面的束直径为 3μm，束流为 300pA。利用该设备分析了半导体集成电路中几个不同区域的元素成份及深度分布。

一、前 言

Rutherford 背散射分析技术对离子注入半导体表面和薄膜的成份分析和深度分布特别有效。通常采用毫米级束斑的 MeV He 离子束辐照样品，取得的数据是辐照区的平均值。随着半导体器件的微型化，进入微米范围，因而要求背散射分析具有高的空间分辨能力。近十年来，扫描离子微探针作为一种新的微区分析手段迅速发展起来^[1-4]，空间分辨率达 1 微米，灵敏度 1 ppm，与二次离子质谱、扫描电镜、俄歇谱仪互为补充，成为微区分析的重要组成部分。本文将介绍扫描离子微探针设备及其在半导体集成电路微区分析中的应用。

二、实 验

扫描离子微探针是由中国科学院物理所、半导体所与澳大利亚墨尔本大学 Legge 组协作建立的。其部件由可调节水冷却物光栏、可调孔径光栏、四单元四极磁透镜、扫描系统、高真空靶室等组成，处于一整体钢架结构上，并配有计算机数据处理系统。实验时，从加速器引出 2 MeV He 离子束，通过一组孔径分别为 25 微米和 1 毫米的光栏组限束，然后利用四极磁透镜聚焦，在样品上束斑直径 3μm，靶束流 0.3 nA。如果适当选择光栏孔径并精心调节四极磁透镜的相对位置，束斑直径可达 1μm。靶片置于两轴测角仪上，不锈钢靶室真空间度 10^{-7} 托，通过靶室内的反射镜可在靶室窗口用高倍显微镜调节样品到所选择位置。在四极磁透镜和靶空间有 x 与 y 两组独立的扫描线圈，由三角波发生器驱动。

扫描面积可达 $1 \times 1\text{mm}^2$ 。当使用扫描束时, 可观察样品表面的元素 X 射线分布图或二次电子形貌图, 由此也可确定所分析样品的位置。背散射粒子由 Si(Au) 面垒探测器检测, 散射角为 120° 。信号由 PDP 11/23 计算机多道分析系统处理。

实验选用具有不同沟道长度的集成电路片, 栅长分别在 $1-10\mu\text{m}$ 范围, 用以研究不同沟道长度和宽度的 MOS 管的电学特性和结构, 主要制备过程如下: 在覆盖有 SiO_2 层的 P 型 Si(100) 片上采用 N 沟道 MOS 集成电路工艺刻出源漏区和栅区。利用 180 keV As^+ 注入 Ti/Si 层, 然后在 1040°C 和 $4''$ 下红外瞬态退火, 同时形成源漏区的 n^+-p 结和低电阻率的 TiSi 互连层。实验选择 $8\mu\text{m}$ 的栅区部分进行分析。

三、结果与分析

采用 2 MeV He^+ 束的 Rutherford 背散射法分别测量场氧区、源漏区和栅区的元素组份和深度分布。图 1 为场氧区的背散射能谱。由谱图计算可知在衬底 Si 上覆盖有约 2700\AA 厚的 SiO_2 , 元素 As 几乎均匀地分布在 SiO_2 层内, 其含量为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。

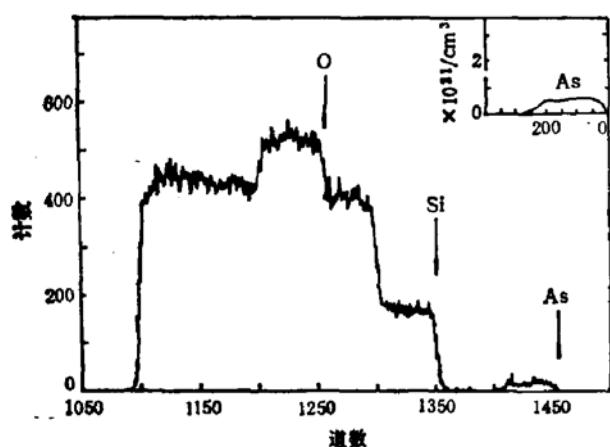


图 1 场氧区的背散射能谱

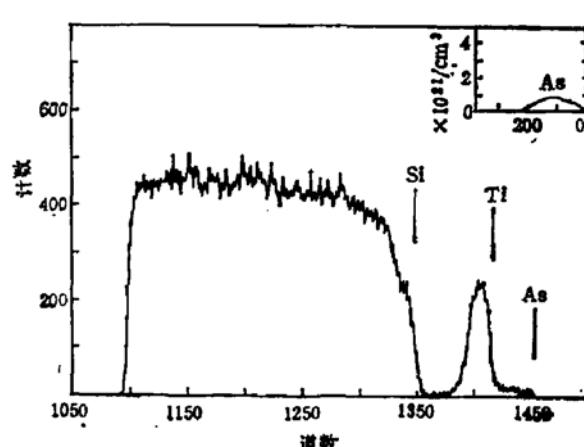


图 2 源漏区的背散射能谱

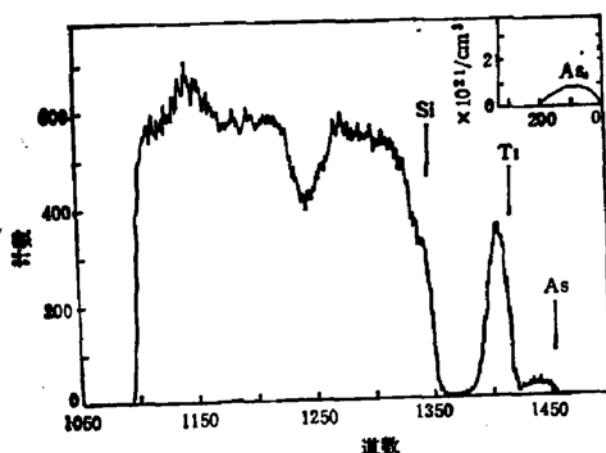


图 3 栅区的背散射能谱

源漏区的背散射能谱示于图 2, 该区的结构为硅化钛/衬底硅, 利用背散射分析及 X 射线衍射实验可知, 硅化物为 TiSi₂, 其厚度~600 Å。As 除了分布在整个 TiSi₂ 层外还进入硅衬底, 在 >400 Å 处形成 n⁺-P 结。

栅区的背散射谱如图 3 所示, 谱图表明栅区是由多层结构组成, 包括如下层次, 在衬底硅上有一渐变的栅氧层 (SiO₂), 这是由热氧化形成的, 其厚度为 1200 Å, 生长在栅氧上的多晶硅厚度为 3700 Å, 多晶硅与 Ti 形成的 TiSi 层在最表面, 厚度为 600 Å, As⁺ 分布在整个 TiSi₂ 层中, 也存在于多晶硅中。

由各能谱图也可计算出 As 的浓度分布, 谱图中的右上角插图分别表示各层中 As 的浓度随深度的分布。

通过上述能谱数据的分析, 对半导体集成片的结构成份已经清楚。这是国内第一次在大规模集成电路上进行的实地分析, 与过去只能在大面积硅片上分别模拟集成电路各个区域的复杂工艺过程的分析测试结果是一致的。由此看出, 采用微米束的背散射分析可以直观、定量地测试集成电路上的功能区的结构, 各层的厚度及其成份, 是一次性地得到剖面分布的测试手段。方法简单、可靠、不破坏样品。将微米束分析与电学测量结合可以直接研究组件中各器件单元的结构、组份对器件失效、稳定性和可靠性的关系。相信该方法的利用将促进我国微电子工业的发展。

致谢: 对 Dr. G. Legge 的热情支持, 朱节清同志的帮助表示衷心的谢意。

参 考 文 献

- [1] J. A. Cookson, *Nucl. Instrum. & Methods*, 165, 477(1979).
- [2] G. F. Legge, *Nucl. Instrum. & Methods*, 218, 197(1982).
- [3] R. Nobiling, *Nucl. Instrum. & Methods*, 218, 197(1983).
- [4] G. F. Legge, *Nucl. Instrum. & Methods*, B3, 561(1984).

MeV He⁺ Microbeam Analysis Applied to Integrated Circuit of Semiconductor

Zhu Peiran Liu Jiarui

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Zhang Jinping and Yin Shiduan

(Institute of Semiconductor, Academia Sinica)

Abstract

MeV He⁺ microbeam has been used for the analysis of microscale semiconductor structure. A beam of 2 MeV He⁺ ions is limited to 25 μm of diameter by a set of diaphragm and it is further focused by a quadruplet magnetic lens to 3 μm of diameter on the surface of the sample. The beam current of incident on the sample is about 300 PA. RBS analysis is applied to the measurement of the distribution of element and depth profiles on the surface of a semiconductor integrated circuit.