

内嵌设备模型的离子注入工艺模拟程序

李 煜 李瑞伟 王纪民

(清华大学微电子学研究所, 北京 100084)

摘要: 以离子注入工艺为例, 通过研究沟道效应对离子注入工艺的影响, 提出了建立设备模型的必要性, 并且编程加以实现.

关键词: 设备模型; 工艺模拟; 离子注入; 沟道效应

EEACC: 2220C; 2550X

中图分类号: TN 305 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2003)05-0556-05

1 概述

现代集成电路技术中, 工艺模拟无论对于工艺的研究与开发还是对集成电路产品的工艺设计都具有重要的意义. 在众多的集成电路工艺中, 离子注入工艺以其良好的可控性和灵活性, 已成为一种重要的、不可缺少的掺杂工艺. 比较常用的离子注入工艺模型包括蒙特卡罗模型、双皮尔森模型等^[1-6]. 而在集成电路工艺的发展中, 设备又起着十分重要的作用, 但在目前的工艺模拟中, 往往采用的是统一的、简单的工艺模型, 而忽视了不同设备对工艺的不同影响. 这就可能使模拟结果与实际工艺有较大的偏差, 且不能模拟工艺的分散性和流片成品率. 为了对此加以改进, 需要在工艺模拟中加入设备模型. 加入设备模型的工艺模拟与简单工艺模拟的主要区别在于: (1) 设备模型可根据设备的实际情况修正简单模拟的工艺模型与条件; (2) 设备模型可以模拟硅片上工艺结果的分布与均匀性, 这种功能在传统的工艺模拟软件中是没有的. 本文介绍了离子注入设备模型的建立方法, 并且结合数据库技术, 在 VB6.0 环境下编程实现了离子注入结深非均匀性分布的自动模拟显示.

2 离子注入的沟道效应

离子注入深度(射程)主要是由离子的种类及注

入能量决定的, 但离子束相对于硅片晶向的注入角度对离子注入的深度也有一定影响, 有些情况下, 影响是相当大的. 根据器件工作的需要, 硅片表面通常是垂直于主晶轴的. 入射离子进入单晶后的运动, 可分为两种情况: 一是沿着晶轴方向运动, 在晶格空隙中穿行, 只受到电子散射, 损失能量, 不改变方向, 好像在沟道中运动一样, 这种离子可以走得很远, 成为沟道离子; 另一类离子运动方向远离晶轴方向, 因此它们常常与晶格相碰撞而损失较多能量, 它们走的路径也较短, 同离子在非晶靶中运动相似. 与非沟道离子相比, 沟道离子的能量损失较低, 因而其深入距离比非沟道注入离子的射程大得多, 可以是在无定型硅中注入射程的几倍, 这就是离子注入的沟道效应.

为了减小当注入角度有偏差时, 由于沟道效应而造成的注入深度非均匀性, 通常使注入方向与硅片主晶轴有一个 7° 的倾角.

3 设备模型和离子注入均匀性模拟程序

如果采用的是中心扫描方式离子注入机, 由于这种扫描方式的离子注入机的扫描中心固定不动, 因此在硅片表面各处的离子注入倾角必然会存在差异. 由于沟道效应, 这将在硅片表面各处有不同的注入深度. 为了模拟注入设备对硅片上注入结深分布

李 煜 男, 博士研究生, 主要从事集成电路工艺模拟研究.

2002-05-25 收到, 2002-08-02 定稿

的影响,我们把扫描中心与硅片的距离称为“扫描半径”。显然扫描半径越小,硅片直径越大,则硅片各处注入角度差别就越大,因而注入深度的偏差也越大。而扫描半径与硅片直径都是由设备决定的。我们选择 SILVACO 公司的虚拟工艺制造(VWF)软件包作为基本的注入模拟软件。与早期的离子注入工艺模拟软件不同,该软件考虑了离子注入的沟道效应,并且将硅片表面晶向和离子束的入射角度作为输入数据之一。

为了建立离子注入的设备模型,选取(100)晶面作为硅片表面。为了描述中心扫描的离子束在硅片各处的注入角度,我们在硅片上建立起一个直角坐标系,如图 1 所示,选取硅片表面的[100]和[010]晶向分别作为 x 轴和 y 轴。将坐标原点定在硅片表面中心,扫描中心位于 yz 平面内。显然,硅片上其它各处的注入离子束不但与 z 轴([001]晶向)的夹角 θ 不同,而且偏离 yz 平面的夹角也不同(也就是方位角 ϕ 不同),这样,问题还是比较复杂的。但考虑到硅晶体结构的对称性,问题可得到一定的简化。

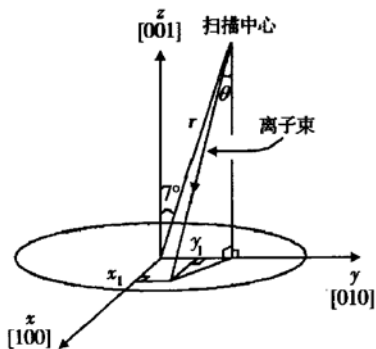


图 1 硅片上用以计算注入角的直角坐标系

Fig. 1 Coordinate for calculating implantation tiltangle on wafer

首先,由于硅片晶体结构对 yz 平面具有宏观的镜面对称性,而离子束在硅片的 $+x$ 和 $-x$ 两个半圆区的注入角度也完全是镜面对称的,因此,硅片上这两个半圆区的注入结深分布一定是镜面对称的。在模拟时,只需模拟一个半圆区的结深分布即可。其次,我们对不同 θ 、 ϕ 的离子注入进行了模拟,模拟结果表明,对一定的离子束,注入结深只与 θ 有关,而与方位角 ϕ 无关。这样在模拟硅片上离子注入结深分布时,只需计算硅片上各处的离子束与 z 轴的夹角 θ 即可,而无需计算方位角 ϕ ,这就使得问题大大简化了。

由图 1,注入倾角的计算公式可由立体几何知识推导得出:

$$\theta = \arctan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(r \sin 7^\circ - y_1)^2 + x_1^2}}{r \cos 7^\circ} \right)$$

其中 r 为扫描中心与硅片中心的距离(简称扫描半径); x_1 、 y_1 为硅片上某点的坐标。这样,就完成了离子注入设备数学模型的建立。

设备模型建立之后,我们要从 SILVACO 公司的 VWF 软件中获得各种条件下的离子注入模拟的初始数据,建立一个离子注入结深数据库,准备自行编程实现离子注入结深在硅片上的非均匀性分布的自动显示。之所以选择建立数据库,而不是使用离子注入的基本工艺模型直接进行逐点模拟,我们的考虑是:由于要显示硅片表面众多的数据点,若是使用离子注入的基本工艺模型逐点计算离子注入结深,模拟过程的时间消耗巨大因而得不偿失,而使用数据库查询则可以大大缩短模拟过程的时间。离子注入条件包括不同离子类型、注入剂量、注入能量、注入角度等,以这些条件做为自编程序的输入,编程语言选择为简单易行的 VB,完成的输入界面如图 2 所示。



图 2 模拟程序输入界面

Fig. 2 Input interface of simulation program

可以看到,在程序的输入界面,除了常规的一些离子注入输入条件外,还在左边一列加入了反映离子注入设备的一些输入参数,包括离子注入方式、扫描半径、硅片尺寸以及硅片中心的注入角度,这些设备的条件,直接决定了离子注入结果的分布均匀性。对于输入参数的处理,我们采用的是数据库查询的方法。在这之前已经用 VWF 软件模拟的结果建立了一个小型数据库,编程实现了对这个数据库的控制与查询。由于数据库的元素有限性质,决定了不可

能对每一输入参数的值在数据库中都有与之精确对应的模拟结果,因此在查询的时候必须进行模糊查询处理,即在无法查到与输入参数完全一致的数据时,自动转为查找数据库中与之输入参数最接近的一组数据.我们选用模糊查询方法而没有采用插值法来进行模拟近似,是由于在最终显示离子注入结深时,是按照结深区间来加以分别的,选择就近的条件来近似显示结深并不会对结果有很大影响.因此即使采用插值法也不会提高结果显示的精度,反而会加大数据的计算量,无意义的消耗大量模拟时间.数据库查询的算法如图3所示.

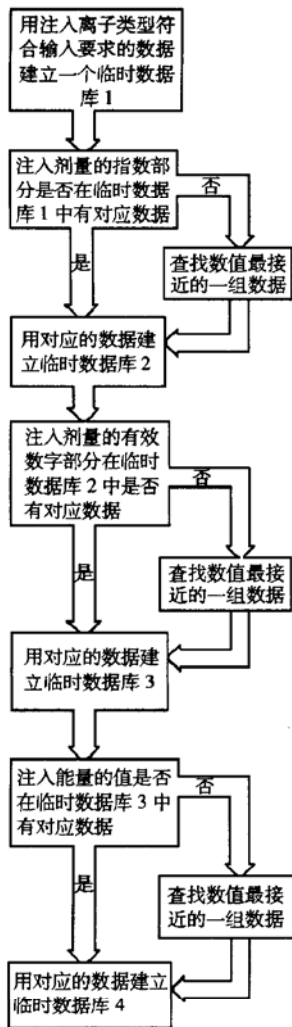


图3 数据库查询算法流程

Fig. 3 Flow chart of inquiring arithmetic database

我们的基本查询算法是逐步缩小与输入参数相对应的临时数据库大小,当查询到达临时数据库4的时候,该库中的数据是由注入角度不同而其它注

入条件与输入参数最接近的一组数据构成,这组数据就是我们进行结深非均匀性自动显示的一组基本数据.

在程序运行时硅片将被划分为小方格,按照前面的设备模型公式,根据设备的离子束的扫描半径计算出每个方格中心点处的离子注入角度 θ ,从而对其注入深度分别进行模拟,将其视作该方格的注入深度.在完成了相关数据的查询之后,程序将自动选择颜色配比,显示出一幅硅片的平面图,颜色选择的算法如图4所示.

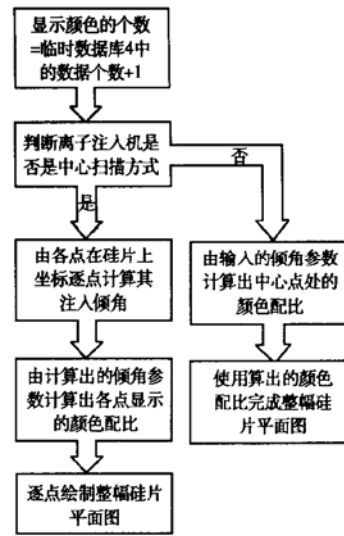


图4 颜色显示选择流程

Fig. 4 Process of color selection

在硅片平面图中用深浅不同的颜色代表不同的注入结深区域,如图5.6所示.

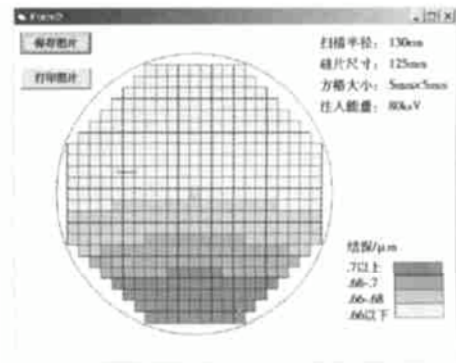


图5 考虑设备模型后,125mm 硅片离子注入结深分布的模拟结果

Fig. 5 Simulation result of junction depth in 125mm wafer after considering equipment model

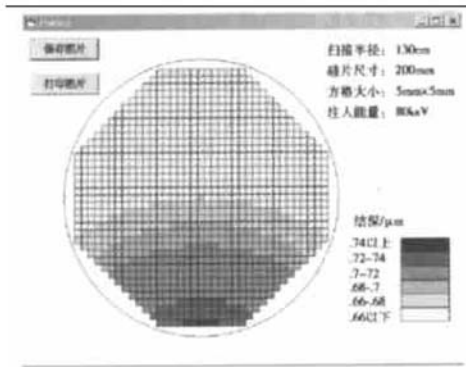


图6 考虑设备模型后, 200mm 硅片离子注入结深分布的模拟结果

Fig. 6 Simulation result of junction depth in 200mm wafer after considering equipment model

在程序显示界面还提供了图片的保存与打印功能. 由显示的图片可以清楚地看出设备对于离子注入结深分布均匀性的影响. 经过多次模拟发现, 对于 125mm 的硅片, 在离子束扫描半径为 130cm 的情况下, 模拟所得的结深分布仍是比较均匀的. 但对于 200mm 的硅片, 则出现了结深分布变化较大的现象, 有些条件下注入结深的偏差可达 $\pm 10\%$ 以上. 显然中心扫描方式的离子注入机对于 200mm 的硅片已不能满足工艺均匀性方面的要求. 对于 200mm 的硅片, 采用平行扫描方式的离子注入机是必要的.

在该程序的升级方面, 可以对数据库中的现有数据进行校正, 还可加入新的数据来扩展数据库, 这些新的数据可以来自试验数据或是具有更高精度的模拟软件, 因此该程序在自行升级方面具有很大的灵活性.

4 结论

在硅片直径日益增大的今天, 同一硅片上的注

入角范围越来越大, 注入结深非均匀性问题摆在了工艺工程师们的面前. 设备对工艺结果有重要影响, 因此, 为提高工艺模拟的仿真程度, 有必要研究开发工艺模拟中的设备模型. 加入设备模型的工艺模拟, 即使未对模拟中的基本工艺模型进行改进, 也可以得到许多新的关于硅片上工艺结果分布均匀性的知识, 这对于改进工艺和设备, 提高生产成品率都是很有意义的.

参考文献

- [1] Takeda T, Tazawa S, Yoshii A. Precise ion-implantation analysis including channeling effects. *IEEE Trans Electron Devices*, 1986, ED-33: 1278
- [2] Crandle T L, Mulvancy B J. An ion-implantation model incorporation damage calculations crystallizing targets. *IEEE Electron Device Lett*, 1990, 11: 42
- [3] Yang S H, Morris S J, Tian S, et al. Monte Carlo simulation of arsenic ion implantation in (100) single-crystal silicon. *IEEE Trans Semiconduct, Manufact*, 1996, 9: 49
- [4] Posselt M, Schmidt B, Murthy C S, et al. Modeling of damage accumulation during ion implantation into single-crystalline silicon. *J Electrochem Soc*, 1997, 144: 1495
- [5] Klein K M, Park C, Tasch A F. Monte Carlo simulation of boron implantation into single-crystalline silicon. *IEEE Trans Electron Devices*, 1992, 39: 1614
- [6] Eaglesham D J, Stolk P A, Gossmanm H J, et al. Implantation and transient B diffusion in Si: the source of the interstitials. *Appl Phys Lett*, 1994, 65: 2305
- [7] Zhuang Tongzeng. The fabrication technology of integrated circuit——principle and practice. Beijing: Publishing Company of Electronic Industries, 1987 [庄同曾. 集成电路制造技术——原理与实践. 北京: 电子工业出版社, 1987]
- [8] Li Yu, Li Ruiwei, Wang Jimin. Research of the ion implantation equipment model in integrated circuit process simulation. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2002, 23: 319 (in Chinese) [李煜, 李瑞伟, 王纪民. 集成电路工艺模拟中的离子注入设备模型研究. *半导体学报*, 2002, 23: 319]

A Simulation Program with Equipment Model in Ion Implantation Process

Li Yu, Li Ruiwei and Wang Jimin

(Institute of Microelectronics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Taking the process of ion implantation as an example, the necessity of establishing an equipment model in process simulation is put forward. A program is made to realize the intention.

Key words: equipment model; process simulation; ion implantation; channeling effects

EEACC: 2220C; 2550X

Article ID: 0253-4177(2003)05-0556-05