

# 电子束成象制作图形的新方法探索\*

孙毓平

(中国科学院微电子中心)

## 提 要

本文介绍了利用电子束成象在硅衬底上的薄二氧化硅膜中制作图形的一种新方法。所得的电子象,利用聚脂型反应媒介物并通过氢氟酸汽相腐蚀,不仅可以在二氧化硅膜上形成正图形,而且可以形成负图形。

## 1. 引言

文献[1]提出了不用电子抗蚀剂进行电子束光刻的概念,其方法是用电子束成象,化学湿法腐蚀形成  $\text{SiO}_2$  膜上的凹图形(正图形)。本文探索的方法与文献[1]有所不同:成象电子束能量较高;腐蚀  $\text{SiO}_2$  膜的方法用氢氟酸汽相腐蚀;不仅能得到成象区的凹图形,而且还能得到成象区的凸图形(负图形)。文中探索了电子束成象能量、成象电荷剂量以及腐蚀条件等对图形形成的影响。

## 2. 实验方法

层结构样品  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  用  $\text{Si}$  材料作衬底热生长  $\text{SiO}_2$  膜形成。电子束成象实验是在 H94/2K 型高斯圆束矢量扫描电子束机上进行的。该机的电子束直径为  $0.3-2\mu\text{m}$ ,束流为  $10^{-11}-10^{-3}\text{A}$ ,电子光学场区为  $2 \times 2\text{mm}^2$ ,地址点扫描时间为  $10-1000\mu\text{s}$ ,数/模精度为  $12-15\text{bit}$ 。为了获得尽可能大的电荷剂量,采用了高束流、长的地址点扫描时间、高密度地址栅重复扫描法。腐蚀前,用旋涂法在  $\text{SiO}_2$  上复盖一层特殊的反应媒介(对于正图形为自行配制的聚脂型 K83-1;对于负图形为聚酯型 K83-2)。为了加快腐蚀,用  $0.35-0.4\mu\text{m}$  波长的紫外光辐照  $1\text{min}$ 。腐蚀在专门设计的氢氟酸汽相腐蚀设备中进行。 $\text{SiO}_2$  腐蚀台阶由  $\alpha$ -TECON 测量仪测量。

## 3. 实验结果

(1) 不用任何反应媒介的  $\text{SiO}_2$  膜电子束成象区的正图形(增强腐蚀的凹图形)

用能量为  $20, 25$  和  $30\text{KeV}$ 、电荷剂量  $>10^{-4}\text{C}/\text{cm}^2$  的电子束入射裸  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  样品,然后进行氢氟酸汽相腐蚀,便可得到正图形。文献[1]的正图形是在  $0-15\text{KeV}$  入射能量和氢氟酸液相腐蚀的条件下获得的。我们的实验表明,腐蚀速率有一个由慢到快的过渡,如图1所示。过渡时间  $t_0$  与入射条件和腐蚀条件有关,  $t_0$  为腐蚀  $\text{SiO}_2$  膜厚度  $H_0$  所需的时间,纵坐标和横坐标标度均为任意的。腐蚀速率还与  $\text{SiO}_2$  膜的性质有关。

(2) 涂敷反应媒介(K83-1)的  $\text{SiO}_2$  膜电子束成象区的正图形 K83-1 是一种聚

\* 1986年2月14日收到,1986年8月4日修改定稿。

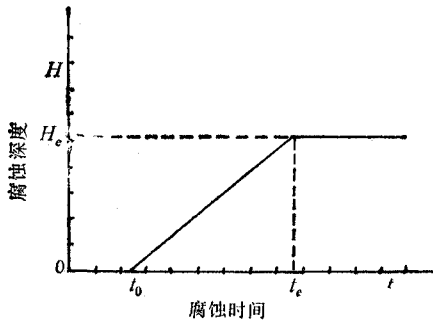


图1 图形腐蚀曲线示意图

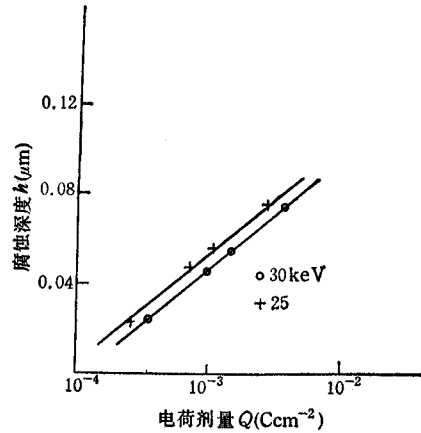


图2 正图形腐蚀深度  $h$  与电荷剂量  $Q$  的关系

酯型反应媒介。这种方法同样可得到增强腐蚀的正图形。为了加速腐蚀,可用  $0.35\text{--}0.4\ \mu\text{m}$  波长的紫外光辐照  $1\text{min}$ 。图2为正图形腐蚀深度与入射的电荷剂量的关系。实验结果表明,对于同样的  $\text{SiO}_2$  膜厚度和腐蚀条件,低能电子束需要的电荷剂量较小,高能电子束需要的电荷剂量较大。在同样电荷剂量下,高能电子束需要的腐蚀时间较长,低能电子束需要的腐蚀时间较短。在电子束能量相同的条件下,电荷剂量增大,则腐蚀速率加快。

(3) 涂敷反应媒介(K83-2)的  $\text{SiO}_2$  膜电子束成象区的负图形 K83-2 是另一种聚酯型反应媒介。利用它可使  $\text{SiO}_2$  膜的人射区产生减弱腐蚀效应,形成成象区的凸图形。为了加快腐蚀,可用普通的紫外光源辐照(一般  $1\text{min}$ )。实际上这时要求腐蚀的是非入射成象的区域,入射区的  $\text{SiO}_2$  尽量少腐蚀。图3为负图形入射区的腐蚀速率与入射电荷的剂量和能量之间的关系。当入射电子束能量一定时,入射  $\text{SiO}_2$  区的腐蚀速率随入射区的电荷剂量增加而减小;当入射剂量一定时,入射区腐蚀速率随入射的电子束能量的增加而增大。对于负图形,希望选择的腐蚀比越小越好。图4为负图形的选择腐蚀比

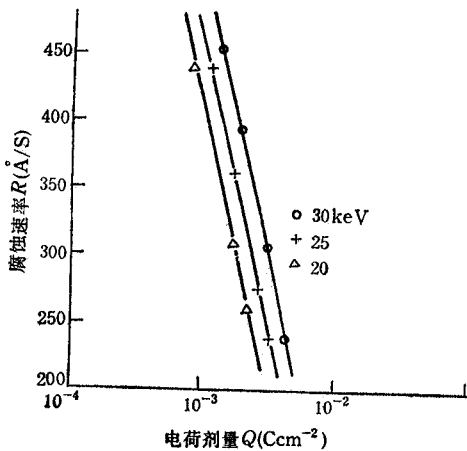


图3 负图形腐蚀速率  $R$  与电荷剂量  $Q$  的关系

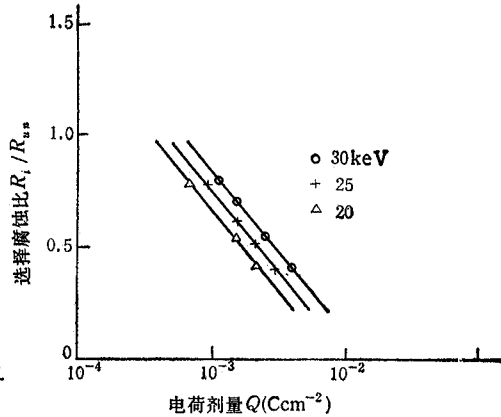


图4 负图形选择腐蚀比与电荷剂量的关系

$R_i/R_{un}$  与电荷剂量  $Q$  的关系。  $R_i$ ,  $R_{un}$  分别为入射区和非入射区的腐蚀速率。 负图形的选择腐蚀比随入射电荷剂量增加而减小, 随电子束能量的增加而增大。 图 5 为负图形入射区的腐蚀高度与入射电荷剂量的关系。 实验表明, 负图形的腐蚀高度  $h$  (即入射区的凸图形高度) 与入射电荷剂量、电子束能量有关, 随电荷剂量的增加而增高, 随电子束能量的增加而减低。 比较图 2 和图 5, 可见正负图形的腐蚀特性很相似, 但它们的斜率不同, 负图形的斜率大, 表明负图形比正图形对剂量更敏感。 图 6 为利用负图形形成法制作的  $\text{SiO}_2$  图形照片, 最细线宽为  $1\mu\text{m}$ 。 腐蚀条件可在下列范围内调整: 由氮气携带的氢氟酸气体通过样品腐蚀室的流量为  $0.38\text{—}0.51/\text{min}$ , 压力为  $3\text{—}5\text{g}$ , 温度为  $100\text{—}220^\circ\text{C}$ 。 一般若流量、压力和温度都减小时, 则腐蚀速率下降。 反应媒介物只须涂敷, 不需显影、后烘等工艺, 并在腐蚀  $\text{SiO}_2$  后去除。

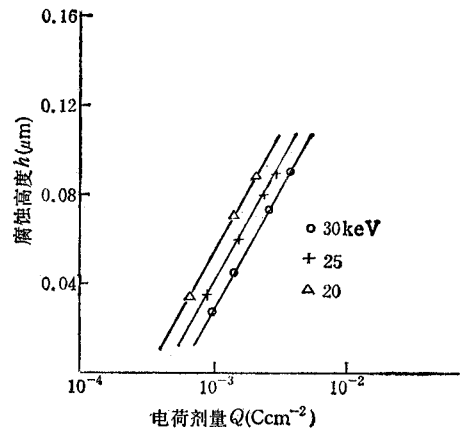
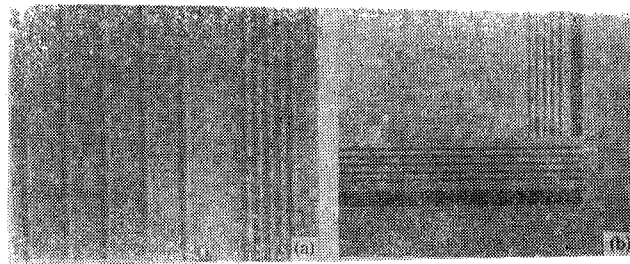


图 5 负图形腐蚀高度与电荷剂量的关系



(a)  $1\mu\text{m}$  (b)  $1.4\mu\text{m}$

图 6 负图形照片

#### 4. 讨论

$\text{SiO}_2$  膜受电子束照射后, 膜的密度产生了微小变化, 从而使折射系数和红外吸收谱相应发生了变化, 形成了所谓活化区。 文献[1]用能量为  $15\text{keV}$  的电子束照射、化学湿法腐蚀得到了增强腐蚀的  $\text{SiO}_2$  正窗口图形。 我们在不用电子抗蚀剂或只用反应媒介的情况下, 用能量为  $20$ 、 $25$ 、 $30\text{KeV}$  的电子束和汽相干法腐蚀的方法, 便可得到增强腐蚀或减弱腐蚀的正图形或负图形。 也就是可以使被照射区活化或钝化, 并易于使腐蚀选择比  $\geq 2$  或  $\leq 1/2$ 。 在束径为  $1\text{—}2\mu\text{m}$  范围内, 可得到与之相当的响应分辨率。 采用本方法, 无需显影和后烘、无电子束邻近效应、无衍射效应、而且具有较高的分辨率。 采用干法腐蚀和高电子束能量, 有利于提高分辨率。

进一步探索和研究高腐蚀选择比、高腐蚀速率的反应媒介、腐蚀图形的预预测方法、线宽控制的方法以及各工艺过程的物理、化学机理, 都具有实际意义。

衷心感谢韩阶平、电子束光刻组、干法腐蚀组在实验方面的大力协助和支持。

## 参 考 文 献

- [1] T. W. Okeeffe and R. M. Handy, *Solid-State Electronics*, 11(1968), 261.

## A NEW METHOD FOR PATTERN MAKING BY USING ELECTRON BEAM IMAGING IN SiO<sub>2</sub> FILM

Sun Yuping

(*Microelectronics Centre, Academia Sinica*)

A new method for patterns making by using electron beam imaging in SiO<sub>2</sub> film on silicon substrate is presented. The electron beam images in SiO<sub>2</sub> film can form not only positive patterns but also negative patterns by using HF vapor etching and reactive media.