

采用气体等离子体制作掩模

西冈久作 等

一、引 言

最近, 气体等离子体被用于大规模集成电路制片工艺中, 其实用性已有许多报导^[1], 另外, 在照相制版工艺使用的光掩模的制作上也采用气体等离子体, 并研究了把工艺的一部分干式化^[2, 3]。

本报告发表了在使用气体等离子体制作掩模工艺中(尤其是关于图形尺寸的精度和图形缺陷发生率、其曝光条件以及腐蚀条件的依赖关系)的研究结果。

二、掩模制作工艺

表1表示过去的湿式工艺与使用气体等离子体的干式工艺的区别。通常, 在光掩模的制作中, 腐蚀液使用亚硝酸铈铵-高氯酸系, 抗蚀剂去除剂使用J-100等。采用这种化学药品的湿式工艺, 具有如下缺点:

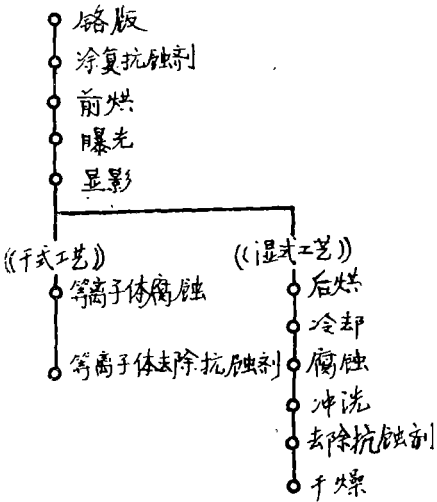
- (1)侧向腐蚀量大, 图形尺寸精度差。
- (2)由于抗蚀剂剥落, 引起一部分图形的上部全部消失。
- (3)由于腐蚀液组分变化, 腐蚀和抗蚀剂去除能力降低。
- (4)随着不断使用, 处理液被污染。

这样一来, 在湿式工艺中, 由于因腐蚀液的渗透容易造成侧向腐蚀和抗蚀剂剥落, 所以抗蚀剂显影后的后烘是非常必要的。但是, 这个后烘工序存在如下问题:

- (1)由于抗蚀剂受热变形, 将产生图形延伸现象。图形尺寸发生变化, 图形拐角变圆, 严重时将会破坏微细图形。
- (2)使工艺时间变长。
- (3)造成抗蚀剂去除更困难。

在使用气体等离子体的干式工艺中, 由于不象湿式工艺那样, 强调抗蚀剂与铬版之

表1 干式与湿式工艺的比较



间的粘附性，所以可以省去后烘。由于省去了这一过程，因而可以避免上述缺点。另外，由于工艺干式化，可以获得如下优点：

- (1)可以简化工艺，省力（参照表1）。
- (2)可以提高图形尺寸精度，提高图像质量。
- (3)在真空室内进行腐蚀和去除抗蚀剂，掩模不易被污染。
- (4)由于不存在湿式那样的溶液组分的变化，所以有可能制作具有均匀优质的掩模。

三、气体等离子体的特性

使用的气体等离子体是：(1) Cl_2 、 O_2 、 He ；(2) Cl_2 、 O_2 、 Ar ；(3) CCl_4 、空气；(4) CCl_4 、 Ar 的混合气体等离子体。通过将13.56兆赫高频功率加到电容型的外部电极上，使之产生等离子体。用于腐蚀铬、氧化铬。

图1表示置于等离子体中的玻璃温度计的饱和指示温度 T （等离子体产生之后大约在1小时内饱和）与气体压力 P 的关系，这种场合下，外加高频功率 P_{rf} 是一定的，为160瓦。饱和指示温度 T 表示使用不同混合气体在不同气体压力下的峰值。另外，峰值的锐度也不同。在使用 CCl_4 、 Ar 的混合气体的场合下最锐，而在使用 Cl_2 、 O_2 、 He 的混合气体的场合下最钝。

图2表示气压一定时饱和温度 T 与外加高频功率 P_{rf} 的关系。使用 CCl_4 、空气混合气体时，气体压力一定，为0.3托，使用 CCl_4 、 Ar 的混合气体时，气体压力一定，为0.15托。如果提高高频功率 P_{rf} ，则饱和温度 T 也随之升高，可以看到饱和的趋向。使用 CCl_4 、空气混合气体的场合，接近300瓦，使用 CCl_4 、 Ar 混合气体时，接近200瓦达到饱和。另外，可以判明，越降低气体压力，在低功率的 P_{rf} 下温度越易饱和。

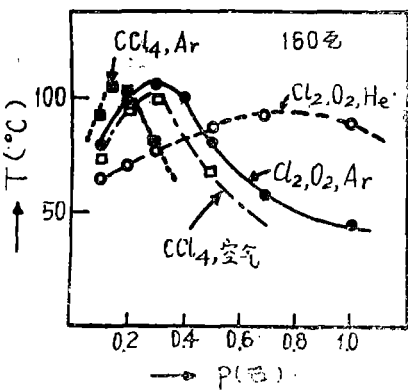


图 1. 饱和温度 T 与压力 P 的关系

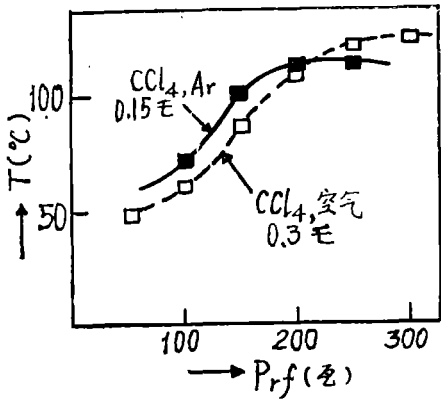


图 2. 饱和温度 T 与射频功率 P_{rf} 的关系

四、腐蚀特性

如上所述，使用气体等离子体，制作了铬掩模和低反射的铬掩模（在铬膜上再加一

层氧化铬膜的掩模)。其腐蚀特性如图3、图4所示。图3表示外加高频功率 P_{rf} 一定(为160瓦)时腐蚀速度 V (腐蚀所需要的时间除以铬膜厚度的值)与气体压力 P 的关系。使用 CCl_4 、 Ar 混合气体时,表示氧化铬的腐蚀速度,使用其它三种混合气体等离子体时,表示所有铬的腐蚀速度。从图1和图3可以看出,腐蚀速度 V 与气体压力 P 的关系,具有与饱和指示温度 T 和气体压力 P 的关系完全相同的情形。即,饱和指示温度升到最高值的气体压力下的腐蚀速度也增至最大。可以看出,其峰值的高度也具有同样的情形。由此可以明白,饱和指示温度在适宜的腐蚀速度时,与等离子体密度有着密切的关系。

图4表示气压一定时的腐蚀速度 V 与外加高频功率 P_{rf} 的关系。使用 CCl_4 、 Ar 时,压力为0.15毛,其它的情况,压力为0.3毛,都是一定的。只是在使用 CCl_4 、 Ar 混合气体等离子体,腐蚀氧化铬时的腐蚀速度,在180瓦左右时出现峰值,其它的情况,也可以看到饱和的情况。

在这种低功率放电中,根据腐蚀速度出现峰值和出现饱和,认为这种腐蚀反应主要是由于原子团反应所引起的。

另外,比较图2与图4可以看出,仅就 CCl_4 、 Ar 混合气体等离子体来说,在饱和指示温度 T 和腐蚀速度 V 与外加高频功率 P_{rf} 的关系上,两者之间有很大的差别。这被认为是由于把功率 P_{rf} 加到200瓦以上时,与腐蚀反应有关的原子团浓度降低,而与腐蚀反应无关,但却使玻璃温度计的温度上升的等离子体浓度增加了的缘故。

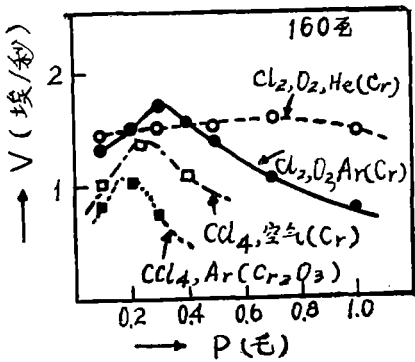


图3. 腐蚀速度 V 与气体压力 P 的关系

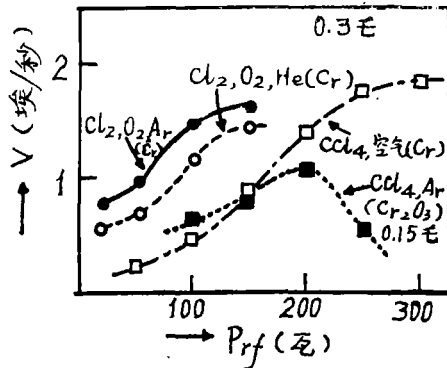


图4. 腐蚀速度 V 与射频功率 P_{rf} 的关系

五、图形尺寸精度

给掩模的图形尺寸精度带来很大影响的是存在侧向腐蚀量。图6、7表示以合理的腐蚀时间 T_0 为单位(形成图形时所需的最短腐蚀时间),图形尺寸位移量 ΔW (=拷贝掩模的图形尺寸 W' 与母掩模图形尺寸 W 之差)与腐蚀时间的关系。即使是过腐蚀,干式腐蚀也比化学腐蚀的侧向腐蚀量要少。此外,由于后烘,将使图形尺寸变化0.2~0.5微米左右。用气体等离子体制作铬掩模的时候,若饱和指示温度 T ,腐蚀速度为最大值的气体压力下进行腐蚀的话,则尺寸位移量 ΔW 和掩模面内的 ΔW 的偏差为最小[1, 2],这样一来,饱和指示温度 T 不但成为等离子体密度,而且也成为等离子体均匀性的良好标准。

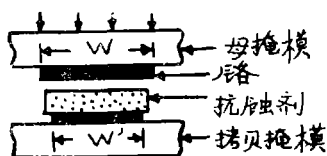


图 5. $\Delta W = W' - W$

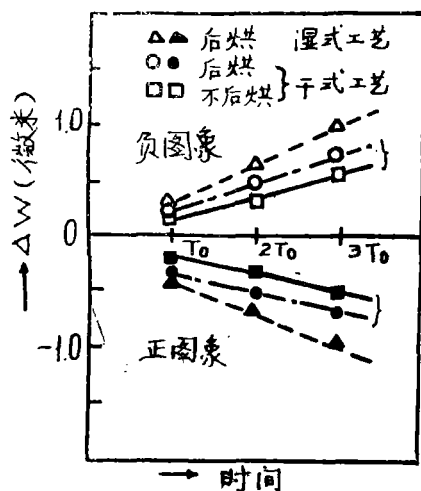


图 6. 过腐蚀效应(正性抗蚀剂)

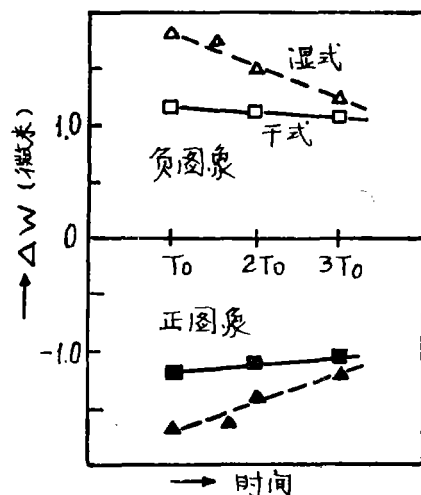


图 7. 过腐蚀效应(负性抗蚀剂)

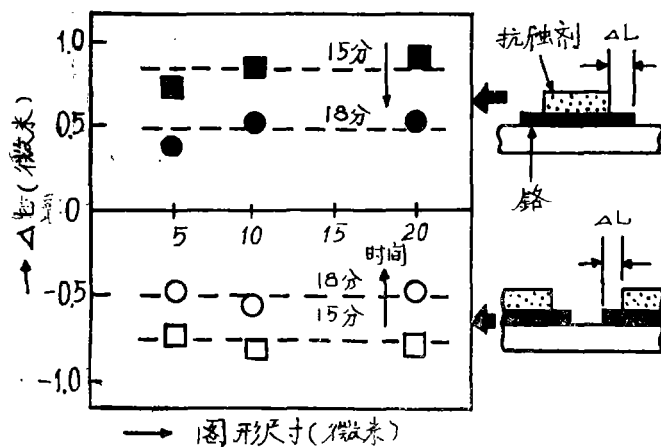


图 8. 负侧向腐蚀

另外，作为在化学腐蚀中看不到而在干式腐蚀中所特有的现象，即存在着一种被称为负侧向腐蚀的现象。即在某种腐蚀条件下，腐蚀后的图形尺寸比抗蚀剂的尺寸要大。如图 8 所示那样，负侧向腐蚀量与图形的尺寸关系不大。

六、图形缺陷

对由相同的测试图形用的掩模，除曝光时间之外，在全部相同条件下作成的拷贝掩

模的图形缺陷进行了检查。图形缺陷产生率与曝光时间的关系的调查结果如图 9 所示。

随着曝光时间加长，黑点的数目急剧减少。另一方面，针孔的数目，却与预想的相反，看不到增加的趋势，由此可以设想，在使用正性抗蚀剂时，在图形尺寸精度容许的范围内，曝光时间越长，越可以得到图形缺陷少的掩模。

同样，就图形尺寸来说也是如此。即留下来的图形（正象）比去掉的图形(负象)，其图形尺寸与曝光时间有很大关系。

进而比较用干式和湿式工艺制作的母掩模的图形缺陷密度，如图10所示。采用不同的曝光时间，由于针孔、异物吸附所造成的缺陷，干式比湿式工艺要少。就黑点来说，曝光时间短的时候，干湿两工艺的产生率相同。这表明，干式工艺中难于侧向腐蚀。曝光时间在0.3秒以上时，就所有的缺陷来说，干式比湿式工艺的缺陷密度要小。干式工艺不仅在尺寸精度方面，而且在图形缺陷方面，都优于湿式工艺。

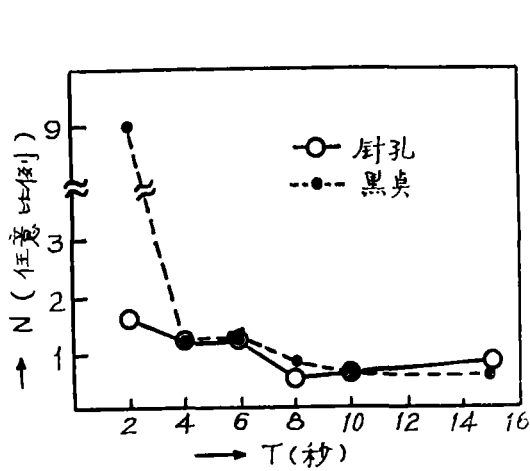


图 9. 缺陷密度与曝光时间的关系

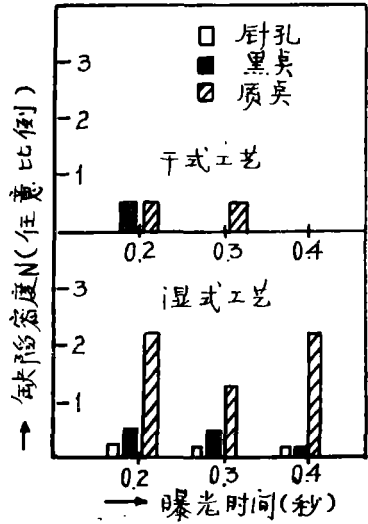


图 10. 缺陷密度的比较

七、结 语

如上所述，使用气体等离子体的干式工艺与使用化学药品的湿式工艺相比较表明，采用干式工艺，不仅图形尺寸精度、而且在图形缺陷、掩模制作方面都是有利的。今后随着图形越来越微细化，干式工艺将成为不可缺少的工艺。另外还发现了各种在液相-固相系反应中不能产生的汽相-固相系反应的特有的现象，期待着应用于掩模制造技术中。

参 考 资 料

[1] 阿部；日经エレクトロニクス，No. 102，P. 92 (1975)

[2] 西冈他；第35回応物学会予稿集，8a—P—3 (1974)

[3] H. Abe et al; the 6th Internationaler Kongress Microelektronik, Munich Germany, Nov. (1974)

[4] 阿部他；第35回応物学会予稿集，9a—Q—8 (1974)

王万里 译自《半导体・集积回路技术—第8回シンポジウム—讲演要旨集》
P.61 (1975)

本 刊 校