

显示硅的扩散 $P-N$ 結的位置的一种方法*

黃 景 森

精确测量 $P-N$ 結的深度,在杂质扩散过程的研究和器件制造工艺上是一项重要的工作。对于硅的扩散 $P-N$ 結的深度,一般以采用磨角、染色^[1,2]或鍍銅^[2,3]显示 $P-N$ 結的位置后,再用干涉仪进行测量^[3] 为最准确。該法要求在已經显示出結位置的硅片上有鏡面光亮的表面,才能观察到干涉条紋。本文提出一种新的染色法,它能够在鏡面光亮的硅片表面上,准确地显示出单 $P-N$ 結和双 $P-N$ 結的位置,而不損坏进行干涉显微鏡測量所必需的表面条件。

N 型硅片扩散杂质硼后,表面上形成一 P 型层。用腊将此样品粘在一个能磨出約 2° 角斜面的模架上,用氧化鎂粉把样品磨出約 2° 角的斜面,同时也就把該斜面拋光成鏡面光亮。取下样品,用四氯化碳溶剂溶去殘留在样品上的腊,再用水冲淨。这里不需要經過特殊的处理,就可以拿来进行染色。借助于微动架把一根鎢絲針尖紧压到磨出的斜面上的 N 型硅表面上(探針只能触到 N 型硅表面!),作为正电极,如图1所示。另用一个微动架調动一根銅絲,把它置于硅片上,但不与硅表面接触,并使銅絲位于磨出斜面的稜边附近,以与鎢絲針尖电极靠近,作为負电极。在鎢絲針尖和銅絲之間的硅表面上,滴上一小滴浓度約 20% 的硫酸銅溶液,使鎢針和銅絲都浸沒在溶液中。这时,硫酸銅溶液同时沾潤了 N 型区和扩散的 P 区,沾潤区域的直径約 2 毫米,如图1所示。接通电源,其电流約为 2—4 毫安。可以看到,在扩散的 P 区表面和鎢針电极上有大量的气泡形成,而在銅絲电极上有銅粉末析出。电流随時間逐漸降低,硫酸銅溶液随時間逐漸減少。經過几分鐘后,去掉电源,用水漂洗样品,擦干后可以

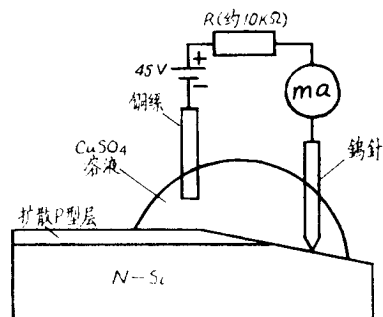


图1 显示 P^+N 結位置的染色綫路示意图

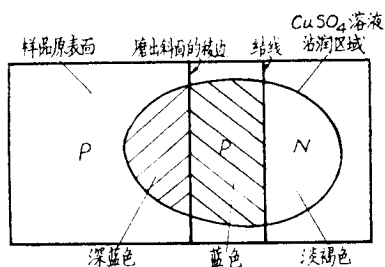
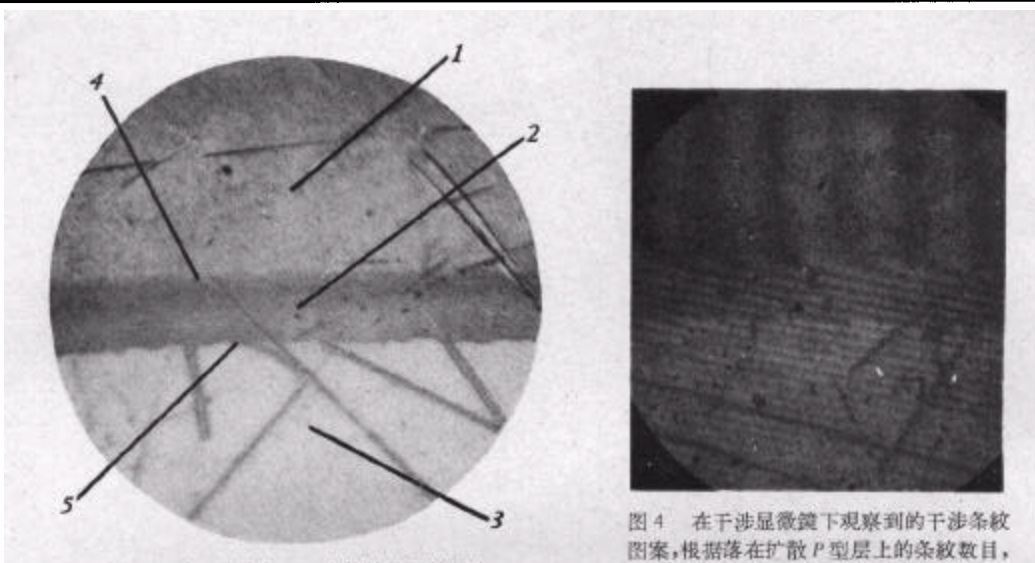


图2 P^+N 結染色后显示出結位置的示意图

看到,沾潤硫酸銅溶液的样品原表面上呈深蓝色,斜面上的扩散的 P 区呈蓝色, N 区呈淡褐色, P 层与 N 层之間有很清晰的結的位置。图2示意地表示出染色后显示出的結的位置。图3为 P^+N 結样品的照片。在呈深蓝色的样品原表面上和呈蓝色的 P 型层斜面上仍旧可以用干涉显微鏡观察到十分清晰的干涉条紋。图4表示染色后产生干涉条紋的照片。数出落在扩散层上条紋的数目,可以算得結的深度。

染色后的样品,一泡进氫氟酸中,染上的各种顏色

* 1963年2月19日收到。

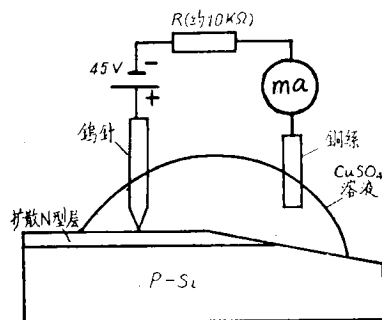
图3 P^+N 结染色显示出的结位置的照片

1. 样品原表面; 2. 斜面上的扩散 P 型层; 3. 斜面上的 N 型硅表面; 4. 磨出的斜面的稜边; 5. 结綫

图4 在干涉显微镜下观察到的干涉条纹图案, 根据落在扩散 P 型层上的条纹数目, 可以算出结深度(用钠光灯做单色光源)

立即全部彻底地被消除掉。可以断定, 染色的结果乃是在样品表面上形成一层纯粹的氧化层。染色后不影响样品表面的镜面反射也证实了这一点, 因为纯粹的二氧化硅薄膜是可以让光线透过的。在样品上所以能够显示出结的位置, 看来是由于导电类型不同的表面氧化速度不同所致, P 型硅表面的氧化速度要比 N 型硅表面的氧化速度快得多。关于所生成的氧化层的厚度, 估计应该小于 $\lambda/20$ (λ 为产生干涉条纹所用的单色光的波长), 因为在硅表面上氧化区域和未氧化区域交界处的干涉条纹的形状没有发生畸变。

用这种染色法所显示出结的位置, 曾与含痕量硝酸的氢氟酸染色法所显示的结位置比较过: 先用本染色法把结的位置显示出来, 在测微计上测得斜面上 P 区的宽度, 然后用氢氟酸泡掉染上的颜色, 再用含痕量硝酸的氢氟酸染色, 显示结的位置, 测得斜面上 P 区的宽度和上述染色法的结果完全一致。

图5 显示 N^+P 结位置的染色线路示意图

对 N^+P 结也进行过这种染色的试验。样品是用 P 型硅片扩散杂质 P_2O_5 得到的。工作线路如图5所示。在这种情况下, 钨丝针尖是紧压到扩散的 N^+ 区样品原表面上, 并靠近磨出的稜边。染色后, 斜面上的 P 区表面呈蓝色, 斜面上扩散的 N 层呈淡褐色。与 P^+N 结情况不同的现象是: 在扩散后的 N^+ 区原表面上, 往往也呈现蓝色, 甚至仅在 N^+ 区原表面及斜面上扩散的 N 层表面上呈现淡蓝色, 而斜面上的 P 区表面呈淡褐色。这个现象表明, 在染色过程中, 氧化速度的快慢不仅与表面的电导类型有关, 还可能依赖于电导率的高低。高电导的 N 型层在一定条件下, 其氧化速度可能比 P 型层的还要快。但是, 不论染色后出现的是哪一种现象, 都能把结的位置清晰地显示出来。这些现象也表明染色

过程中表面化学反应的复杂性。图 6 为 N^+P 結样品的照片。

N^+P 結染色后所显示的結位置曾与鍍銅法所得的 $P-N$ 結位置进行过比較。同时用两种方法在样品磨出的同一个斜面上显示出結的位置; 結果两种方法所划出的結綫完全

在同一条直綫上。图 7 示意地表示出这个結果。在干涉显微镜下由測得的条紋数目而算出的結深度也是一致的。曾經先后采用本染色法和鍍銅法显示同一个样品的結的位置, 測量所得的結果亦完全相符。

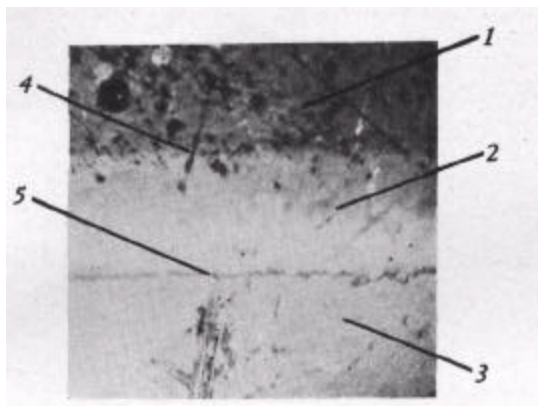


图 6 N^+P 結染色后显示出的結位置的照片
1. 样品原表面; 2. 斜面上的扩散 N 型层; 3. 斜面上的 P 型硅表面; 4. 磨出的斜面的稜边; 5. 結綫

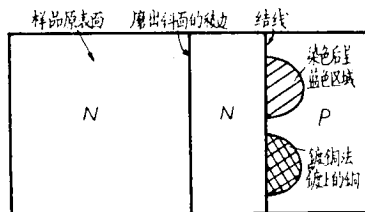


图 7 在同一个样品上同时采用染色法和鍍銅法显示 $P-N$ 結位置, 得到的結綫在同一条直綫上

对于 N^+P 結, 这种染色法的染色時間不宜过长, 否則斜面上的扩散的 N 层和 P 区表面都将变成蓝色, 致使結綫显示得不清楚。

采用这种染色法也可以显示硅扩散三极管的結的位置。对硅 $N-P-N$ 三极管进行染色时, 鎢針触到磨出的斜面上的收集极 N 区表面上, 对于硅 $P-N-P$ 三极管, 鎢針則触到硅片原表面上的扩散的 N 型表面上。硅 $N-P-N$ 三极管染色后, 在磨出的斜面上的发射极 (扩散的 N 型层) 呈浅蓝色, 斜面上的基极 (扩散的 P 型层) 呈深蓝色, 斜面上的收集极 (N 型) 表面呈淡褐色, 而样品原表面呈深蓝色。因为硅片的大小只有 $2 \times 2 \text{ mm}^2$, 所以整个硅表面几乎都被滴上的硫酸铜溶液所沾潤。硅 $P-N-P$ 三极管經染色后, 样品原表面上的 N 型表面呈深蓝色, 磨出的斜面上的 N 型厚基区扩散层和窄基区扩散层呈蓝色。图 8 和

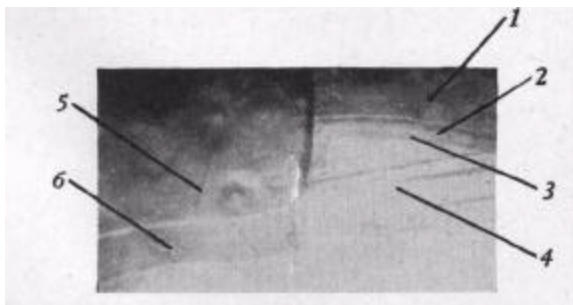


图 8 硅 $N-P-N$ 扩散三极管染色显示出的結位置的照片
1. N 型样品原表面; 2. 斜面上扩散发射极 N 型层; 3. 斜面上扩散基区 P 型层; 4. 斜面上收集极 N 型硅表面; 5. P 型样品原表面; 6. 斜面上扩散厚基区 P 型层

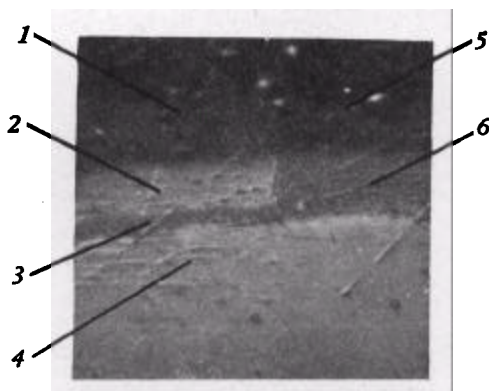


图 9 硅 $P-N-P$ 扩散三极管染色显示出的結位置的照片
1. P 型样品原表面; 2. 斜面上扩散发射极 P 型层; 3. 斜面上扩散基区 N 型层; 4. 斜面上收集极 P 型硅表面; 5. N 型样品原表面; 6. 斜面上扩散厚基区 N 型层

图 9 分别表示硅 $N-P-N$ 三极管和硅 $P-N-P$ 三极管染色显示结位置后所得的照片。

从以上各种类型的单 $P-N$ 结或双 $P-N$ 结染色的结果看来可以认为, 在染色过程中, P 型表面的氧化速度比 N 型表面上的氧化速度快得多, 或者是高电导的 N 型表面比低电导的 P 型表面的氧化速度还要快, 因而显示出结的清晰的位置。预料这个方法有可能把具有两个以上的多重 $P-N$ 结层同时显示出来。

用这种染色法来显示硅扩散 $P-N$ 结的位置, 具有简便、迅速、准确和易于重复等方面的优点, 没有特殊的要求, 技术条件易于掌握。而且染色后可以用氢氟酸泡掉, 再用水冲净后重行染色, 这对实际工作有很大方便。一般说来, 在磨出的斜面上, 不同导电类型的表面上, 由于颜色差异比较显著, 已清楚地把各个区域分辨开来; 但是, 如果利用蓝色光波长的单色光滤光片作为产生干涉条纹的光源, 更能够增加干涉显微镜下各个区域的明暗对照度。如果不用干涉仪测量, 则在白色光源上加蓝色滤光片, 也能够使各个区域的对照度增加, 把结位置更加清晰地显示出来。

这工作是在汤定元先生的指导下进行的。在研究过程中, 得到马佐成等同志的帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Fuller, C. S. and Ditzemberger, J. A., *J. Appl. Phys.*, **27**, No.5 (1956).
- [2] Whoriskey, P. J., *J. Appl. Phys.*, **29**, No.5 (1958).
- [3] Bond, W. L. and Smits, F. M., *Bell. Sys. Tech. J.*, **35** (1956), 1209.