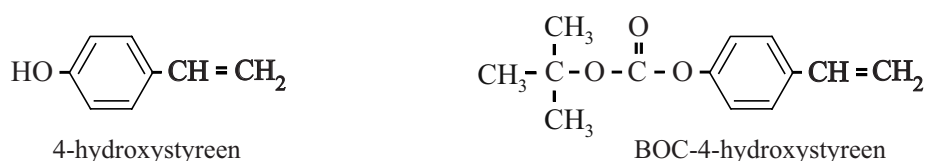


## Polymeren maken de chip

Een computerchip wordt gemaakt van een dunne plaat van puur silicium, een zogeheten wafer. Hierop worden patronen van afwisselend geleidende en niet-geleidende materialen aangebracht. Om deze patronen aan te brengen, maakt men gebruik van een fotogevoelig materiaal, waarvan de oplosbaarheid verandert onder invloed van uv-licht. Een veelgebruikt fotogevoelig materiaal bevat onder andere een copolymeer dat door additiepolymerisatie is ontstaan uit 4-hydroxystyreen en BOC-4-hydroxystyreen. Dit copolymeer noemen we in deze opgave copolymeer X.



BOC-4-hydroxystyreen wordt gemaakt uit 4-hydroxystyreen en di-*tert*-butyldicarbonaat. Bij deze reactie ontstaan, behalve BOC-4-hydroxystyreen, ook methylpropan-2-ol en één andere stof. Op de uitwerkbijlage vind je een onvolledige vergelijking voor deze reactie.

- 2p 15 Maak de vergelijking op de uitwerkbijlage compleet. Gebruik structuurformules.

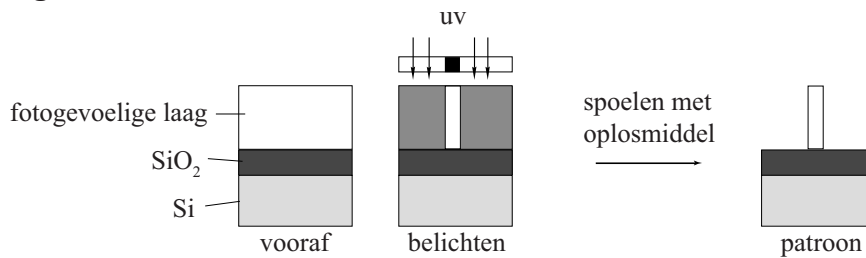
Op de wafer wordt eerst een laag siliciumdioxide aangebracht. Daarop wordt een fotogevoelige laag aangebracht. De fotogevoelige laag bevat copolymeer X en een fotogevoelige stof, PAG. De fotogevoelige laag wordt met uv-licht in het gewenste patroon beschenen. Onder invloed van uv-licht vormt een molecuul PAG één  $H^+$  ion. De gevormde  $H^+$  ionen zitten niet vast op één plek, maar diffunderen langzaam door de fotogevoelige laag. De  $H^+$  ionen katalyseren de omzetting van de BOC-4-hydroxystyreen-eenheden uit copolymeer X tot 4-hydroxystyreen-eenheden, methylpropeen en koolstofdioxide.

- 3p 16 Geef de vergelijking in structuurformules van de omzetting van één BOC-4-hydroxystyreen-eenheid uit copolymeer X tot één 4-hydroxystyreen-eenheid.

- 2p 17 Leg uit of je verwacht of de molverhouding  $\frac{\text{PAG}}{\text{BOC-4-hydroxystyreen-eenheden}}$  in de fotogevoelige laag groter is dan 1, kleiner is dan 1 of gelijk is aan 1.

Na het belichten zijn in de belichte delen alle BOC-4-hydroxystyreen-eenheden omgezet. Vervolgens wordt de wafer gespoeld met een oplosmiddel. In figuur 1 is het belichten en spoelen van een deel van de wafer schematisch weergegeven.

**figuur 1**



Poly-4-hydroxystyreen en copolymeer X verschillen in hun oplosbaarheid. Ze lossen beide niet goed op in water. Maar poly-4-hydroxystyreen lost wel op in een basische oplossing en copolymeer X niet. Door te spoelen met een basische oplossing lossen alleen die delen van de fotogevoelige laag op die met uv-licht zijn beschenen.

De oplosbaarheid van poly-4-hydroxystyreen in een basische oplossing is te verklaren met behulp het gegeven dat de OH groep van elke 4-hydroxystyreen eenheid in een basische oplossing een  $H^+$  afstaat.

- 2p **18** Geef een verklaring op microniveau voor het gegeven dat poly-4-hydroxystyreen dan goed oplost.

Wanneer methoxybenzeen als oplosmiddel wordt gebruikt bij het ontwikkelen, lossen alleen die delen van de fotogevoelige laag op die niet met uv-licht zijn beschenen.

- 2p **19** Geef een verklaring voor het gegeven dat de delen van de fotogevoelige laag die niet met uv-licht zijn beschenen, oplossen als methoxybenzeen als oplosmiddel wordt gebruikt.

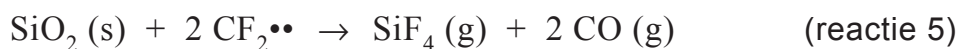
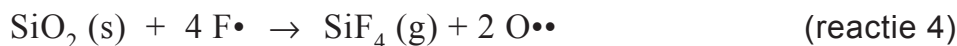
Nadat de wafer is ontwikkeld, wordt hij geëts met een gasmengsel van  $\text{CF}_4$  en  $\text{H}_2$ . Hierbij wordt de  $\text{SiO}_2$  laag verwijderd op de plekken waar deze niet wordt beschermd door de fotogevoelige laag. Zo ontstaat het gewenste patroon in de  $\text{SiO}_2$  laag.

Onder de gebruikte omstandigheden valt een groot deel van de moleculen  $\text{CF}_4$  en  $\text{H}_2$  uiteen en worden radicalen en dubbelradicalen gevormd.

Het mengsel dat zo ontstaat wordt een plasma genoemd. In dit plasma treden de volgende reacties op:



Dit plasma reageert vervolgens met  $\text{SiO}_2$ :



Op plekken waar de  $\text{SiO}_2$  laag weg gereageerd is, kan het plasma ook met het silicium reageren volgens:



Het doel van het etsen is om uitsluitend de  $\text{SiO}_2$  laag te verwijderen terwijl de  $\text{Si}$  laag intact blijft. De concentratie  $\text{H}_2$  in het plasmamengsel beïnvloedt zowel de snelheid waarmee  $\text{SiO}_2$  wordt geëts (de etssnelheid) als de mate waarin  $\text{SiO}_2$  ten opzichte van  $\text{Si}$  wordt geëts (de selectiviteit).

3p 20 Neem onderstaande zinnen over en kies het juiste woord. Licht je antwoord toe aan de hand van bovenstaande reacties.

- Als de  $\text{H}_2$  concentratie wordt verlaagd, neemt de etssnelheid toe/af.
- Als de  $\text{H}_2$  concentratie wordt verlaagd, neemt de selectiviteit toe/af.

uitwerkbijlage

15

