

## Fermienergie bei Oberflächenzuständen

### Illustration

- Warum sitzt die Fermienergie irgendwo mitten in den Oberflächenzuständen? Das kann man sich leicht klarmachen. Mit Bezug auf die [Zeichnung](#), und unter der Unterstellung, daß die Zustände überwiegend Akzeptorzustände sind, kann man folgende Überlegung anstellen:
- Bei endlichen, aber noch nicht zu hohen Temperaturen, werden Elektronen aus dem Valenzband auf Oberflächenzustände übergehen können. Auf den Niveaus "tiefer" in der Bandlücke sitzen natürlich weniger Elektronen als auf den flacheren Niveaus; irgendwo im Mittenbereich der Zustände ist also [Halbbesetzung](#) und damit per definitionem die Fermienergie.
  - Daran ändert sich auch nicht viel, falls wir zusätzlich noch Donatoren oder Akzeptoren einbauen: Die Elektronen der Donatoren würden nicht mehr ins Leitungsband abgegeben, sondern in die energetisch viel günstigeren Oberflächenzustände "sinken"; und die Akzeptoren passen sowieso nahtlos ins Konzept.
  - Dies gilt insbesondere, falls wir sehr viel mehr Oberflächenzustände haben als Zustände von Dotieratomen. Und das haben wir auch, denn auf jedes Dotieratom, das in der Oberflächenschicht sitzt und einen Zustand macht, kommen mindestens  $10^4$ , eher aber  $10^6 - 10^8$  Oberflächenatome von denen viele eine gestörte Bindung und damit einen Oberflächenzustand haben.
  - Bei hohen Temperaturen wird natürlich früher, oder besser gesagt *später*, alles wieder intrinsisch, und die Fermienergie rutscht in die Mitte der Energielücke.
- Ähnliche Überlegungen greifen für den Fall, daß wir Donatorzustände haben und so fort. Verallgemeinern wir das ganze jetzt ein bißchen, kommen wir zu der folgenden *wichtigen* Erkenntnis:
- Größere Dichten an Zustände in der Energielücke halten die Fermienergie fest, sie ist "**gepinnt**". Ob wir zusätzlich noch dotieren, oder die Temperatur etwas ändern, spielt kaum mehr eine Rolle.
  - Unser Halbleiter benimmt sich nicht mehr wie ein Halbleiter, sondern wie ein (schlechtleitendes) Metall, er ist zu nichts mehr zu gebrauchen.
  - Das gilt natürlich auch falls im Volumen viele Defektzustände in der Bandlücke sitzen. Womit wir [wieder mal sehen](#), daß man Kristallgitterdefekte tunlichst vermeiden sollte.
- Hier noch ein deutliches Wort zum Thema "Fermi level Pinning" von Bernard Meyerson, chief technologist for IBM's Systems & Technology Group, in einem Interview mit dem "Semiconductor International"; *Electronic News*, 4/14/2006 :

**Meyerson:** .... If you could manage to make a gate oxide at 12 Angstroms with the same properties of what today is 20 Angstroms, you would get an enormous improvement in device performance and a reduction in the leakage.

**Electronic News:** Is there a material that works?

**Meyerson:** Yes, things like hafnium oxide work. They always look great except for one thing. The bar for introducing new material these days is frightening. You have to be able to make a billion devices that all work. You can't just say, 'I got it.' You don't. You have to make a billion work at the same time. People can show you a nice demo, but showing you a billion that work is a high bar. It's also more complicated.

One of the nice things about silicon dioxide is that there are no defects in the electrical sense that can *pin the Fermi level*. If you *pin the Fermi level*, you are stuck because you can't change the electrical characteristics of silicon as required to make a transistor. Normally you implant silicon with boron, to make a P type, arsenic to make an N type. Electrons can't exist above the Fermi level. That indicates the peak energy at which they can sit. For the electrons to get above that in the conduction band, where they can actually move around and do something, it can be a huge energy leak. That material is highly insulating and has one electrical property. To be able to move that threshold around, you need to move the Fermi level to 100 millivolts or 50 millivolts of the conduction band. The trouble is that if there are defects that *pin the Fermi level* in the middle of the band gap, you can't adjust the threshold of the transistor. That means you can't make technology. The subtlety is that when you start using these new materials that look great, you stick the Fermi level right in the middle of the gap. People usually neglect to get to that part until well into their paper.

**Electronic News:** Any other problems?

**Meyerson:** A lot of people get ahead of themselves. Can you actually dope them? That is act number one. It was the first step for making silicon in the 50s. It's like serving rice to your guests and forgetting to boil it. They get really aggravated. That's a pretty basic error. *It is enormously complex to find materials that allow the Fermi level to move* and that have the correct insulating properties.