

Ultratynde film på silicium

Per Morgen og Sven Tougaard, Fysisk Institut, Syddansk Universitet, Odense.

Indenfor mikroelektronik industrien står man i dag overfor den tætteste direkte berøring med nanofænomener, på grund af denne industris krav til formindskelse af f.eks. gate-oxidets tykkelse i CMOS kredse. I en Intel Pentium 4 processor er dette oxidlag i dag 1,2 nm tykt, dvs. det består af ca. 5 lag SiO₂, som yderligere er dopet med kvælstofatomer. I en række projekter udført af gruppen i Odense i samarbejde med forskere i Ålborg og Århus, bruges bl.a. lagringen ASTRID i Århus til studier af vækstbetingelser og de kemiske og elektroniske forhold i sådanne tynde film af metaller, halvledere og isolatorer, som dannes direkte ovenpå rene siliciumoverflader. Vi har udviklet en række nye metoder, baseret på atomart kontrollerede vækstbetingelser og selvbegrænsende reaktioner, til frembringelse af nye nanometer- og subnanometer tynde metalfilm med kvantiserede elektron-tilstande i filmene, samt nye halvledere og isolatorer, til anvendelse i kommende generationer af mikro- og nanoelektronik. Måling af disse systemers dimensioner ("nanometrik") og strukturer ved hjælp af elektronspektroskopi er en vigtig analysemetode, som der er udviklet algoritmer til i Odense.

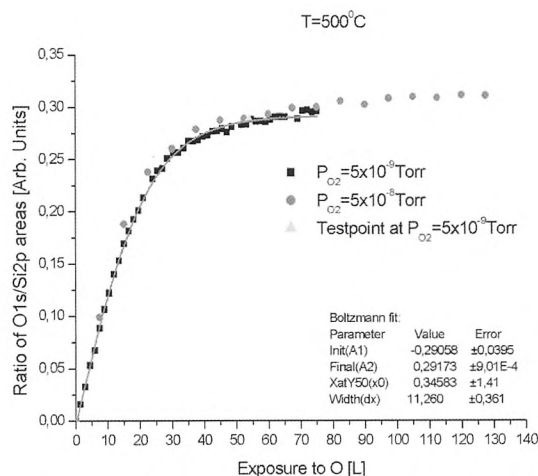


Figure 1. Isotermisk oxidation af Si (111) 7×7 overfladen.

Som et eksempel vises på figur 1 resultatet af en isotermisk oxidation af Si (111) 7×7 overfladen [1] ved en temperatur på 500°C og to forskellige tryk: Henholdsvis 5×10⁻⁹ Torr og 5×10⁻⁸ Torr. Ved at afbilde resultaterne som funktion af eksponering (1L

= 10⁻⁶ Torr × sekunder) ses kurverne at overlappe. Målingerne er udført med XPS (røntgen induceret fotoemission) i Odense. Forløbet er *et helt andet* end det kendte ved højere tryk og temperatur (Deal-Grove mekanismen). Det *mættende* oxidlag har her en tykkelse på ca. 0,7 nm og er uniformt. De forskellige koordinationsstrin af siliciumatomer med O-atomer kan måles i højtopløst, overfladefølsom, fotoemission af Si2p niveauerne i oxidet og i Si-prøvens overflade, med en informationsdybde på under 2 nm (ved ASTRID). Dette er vist på figur 2. De variabelt oxiderede og nitriderede Si atomer kan "tælles" i disse spektre (igen-nem udfoldning af spektrene i Si (bulk....4+)) og udviklingen i spektrene under væksten kan derved følges og sammenlignes med modeller af oxidets struktur og af koordinationen i grænsefladen mellem oxid og Si. I tilsvarende forsøg dannes tynde nitridere på Si, og andre isolatorer og halvledere som Al₂O₃ og AlN dannes direkte på Si under ultra-høj-vacuum betingelser [2,3]. De nano-spektroskopiske muligheder ved ASTRID er her afgørende for at kunne følge disse processer.

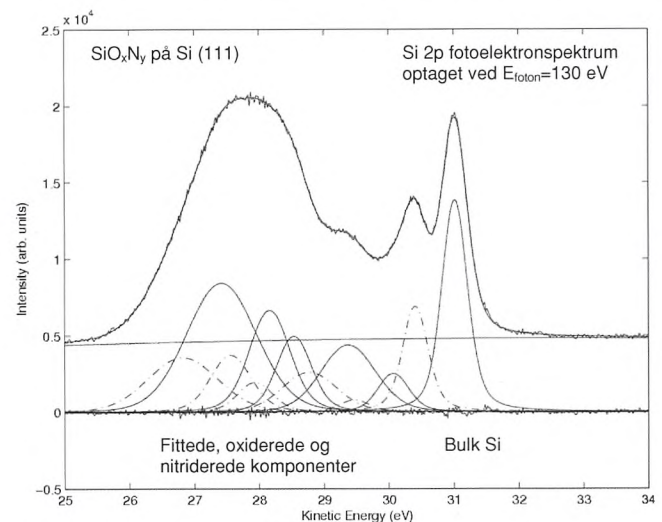


Figure 2. Si2p fotoelektronspektrum.

Referencer:

- [1] www.fys.sdu.dk/surfaces/pdf/urw.pdf.
- [2] [www.fys.sdu.dk/surfaces/pdf/Oxidation properties of Al.pdf](http://www.fys.sdu.dk/surfaces/pdf/Oxidation%20properties%20of%20Al.pdf).
- [3] www.fys.sdu.dk/surfaces/pdf/jfa.pdf.