

Válasz

Kökényesi Sándor Jenő, az MTA doktora bírálói véleményére

Megköszönöm Kökényesi Professzor Úrnak a dolgozatomra adott pozitív véleményét.

Válaszaim a felvetett problémákra és kérdésekre:

„ a 11. ábrán sorrendben és tartalomban nem egyeznek az a, b, c, d, e jelölések.”

A 11. ábrán valóban hibásan szerepelnek az ábrarészek megjelölései. Megjegyzem, hogy a kontaktszög időbeli változását helyesen a 10. ábrán grafikusán is megadtam.

Hogyan értelmezi: „... O atomok lépcsőről lépésre történő mozgását a SiO₂ rétegen keresztül a határfelületig ...” (68. oldal)

Az oxigén atomok lépcsőről lépésre történő mozgása nem a legtalálhatóbb megfogalmazás. Azt akartam kifejezni vele, hogy a kezdeti szakaszban – nagyon vékony oxidréteg vastagságok esetében – elegendő reakcióképes oxigén áll rendelkezésre a határfelületen.

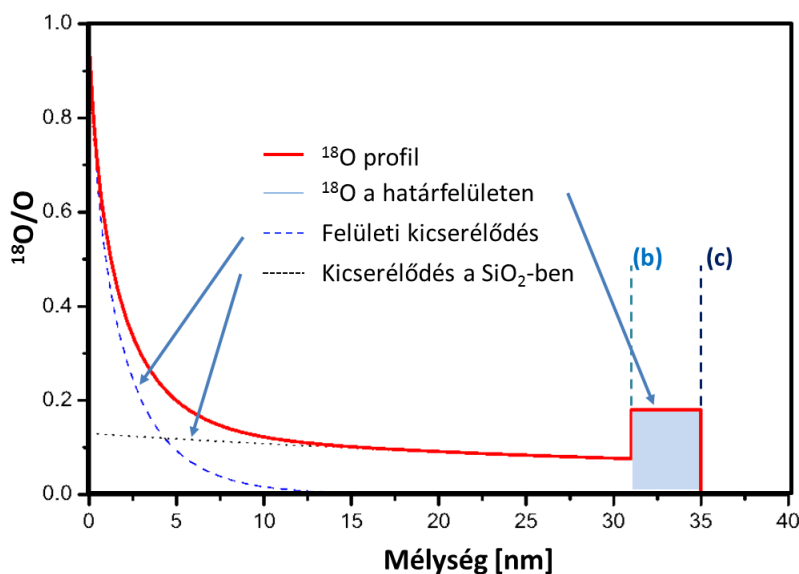
A Si és a SiC száraz oxigénben történő termikus oxidációjának kezdeti szakaszában a növekedést a felületen lejátszódó oxidációs folyamat reakciósebessége határozza meg. A határfelületet ekkor még a gáztérben lévő oxigénkoncentráció által meghatározott oxigénmennyiség éri el. A reakció-limitált szakaszban a kialakuló SiO₂ réteg még nem tömör és nem elegendően vastag ahhoz, hogy „leárnyékolja” a gázteret a határfelülettől. A ≈ 5 nm-nél vastagabb SiO₂ rétegek már összefüggőnek tekinthetők, innen kezdve az O₂ molekulák rétegen keresztüli diffúziója fogja meghatározni a határfelületen rendelkezésre álló oxigén mennyiségét. A növekedés kinetikája ebben a szakaszban parabolikus.

Ezt a két eltérő oxidációs folyamatot írja le a Deal-Grove oxidációs modell: kezdetben lineáris a növekedési kinetika, a folyamat reakciókontrollált. A kezdeti szakasz után a kinetikát parabolikus formulával lehet leírni, az oxidáció sebességét ekkor már a molekuláris oxigénnek az oxidrétegen keresztüli diffúziója korlátozza.

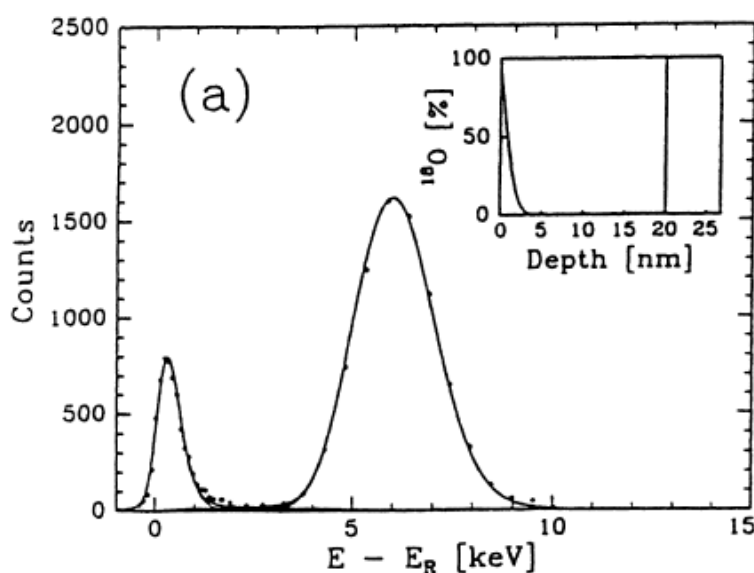
„... a tényleges atomi folyamatok tisztázása, leírása még várat magára ...” (72. oldal)

Dolgozatomnak ebben a részében a C¹⁸O gázban történő magashőmérsékletű hőkezelés hatására kialakuló oxigénkoncentrációt vizsgáltam a mélység függvényében. Azt találtam, hogy a C¹⁸O molekulák SiO₂ rétegen való áthaladás közben egy kicserélődési folyamat is lejátszódik. Ennek következtében a ¹⁶O₂ gázban növesztett SiO₂ rétegben ¹⁸O atomokat találtam. Lehetséges, hogy a CO + SiO₂ $\leftrightarrow$ CO₂ + SiO reverzibilis folyamaton keresztül kerül a SiO₂ mátrixba az ¹⁸O atom, de annak is nagy a valószínűsége, hogy egy véletlenszerű fizikai kicserélődés játszódik le a SiO₂ rétegben található oxigénatomok és a diffúzáns CO molekulák oxigén atomjai között. Még nem tisztázott, hogy a lassan diffundáló CO esetében melyik folyamat a felelős a kicserélődésért.

Összehasonlításként az itt következő ábrákon a hasonló kísérleti körülmények között készített CO-ban kezelt SiO_2/SiC és O_2 -ben hőkezelt SiO_2/Si mintákban mért ^{18}O mélységi eloszlásokat mutatok. Az O_2 molekula diffúziós sebessége kb. egy nagyságrenddel nagyobb SiO_2 -ben, mint a CO molekula diffúziós sebessége ugyanebben az anyagban. Az O_2 molekula gyorsabban és kémiai kölcsönhatás nélkül halad át az oxidban a határfelületig, nem mérhető a kicserélődés a SiO_2 -ben. A CO-s kezelés esetében a CO molekula átlagos tartózkodási ideje az oxidban nagyobb, emellett kémia reakció is lehetséges a CO és a SiO_2 között. De még nem tisztázott egyértelműen SiO_2 -ben mért ^{18}O koncentrációért felelős folyamat.



Mért ^{18}O profil SiO_2/SiC rendszerben



Összehasonlításként a $^{18}\text{O}_2$ -ben hőkezelt SiO_2/Si mintában mért ^{18}O mennyiség mélységi eloszlása

[I.J.R. Baumvol, Surface Science Reports 36 (1999) 1-166]

Van-e szabadalmi bejelentése a szerzőnek az adott témakörben?

Nem született szabadalmi bejelentés a „SiC nanorészecskék létrehozása hőkezeléssel CO-atmoszférában” témakörben. A tárgyalt eljárás ugyanis akár egy gyengén felszerelt Si technológiai laborban is könnyen megvalósítható, a paraméterek kismértékű megváltoztatásával is hasonló struktúrák hozhatók létre. Munkámban a köbös SiC nanoszemcsék kialakulására, jellemzésükre és a lejátszódó folyamatok feltárására koncentráltam.

Si tisztítása D-mal témakörben: Ismert-e jelenleg nyílt információ az eljárás alkalmazásáról?

Kísérleteinket Mattson Thermal Products (Dornstadt, Németország) Si technológiai berendezéseket fejlesztő és gyártó vállalattal közösen végeztük. Véleményük szerint a D alkalmazása kapu-dielektrikum réteg előállítására előtt nagyon perspektivikus. Azonban a nehézvíz viszonylag magas ára miatt alkalmazását csak akkor tartják lehetségesnek, ha zárt rendszerben a D tartalmú vegyületek visszanyerését és újrafelhasználását meg tudják valósítani. A gyors hőkezelő berendezéseik ilyen irányú továbbfejlesztéséről nincs tudomásom és erre vonatkozó információkat sem sikerült kapni a partnereinkről. A gyárakban alkalmazott Si technológiai eljárásokról, azok részleteiről nagyon kevés nyilvános információ áll rendelkezésre, ezekben eddig utalást D alkalmazására a Si technológiában nem találtam.

„... elírásnak vélem azt a kifejezést, hogy a SiC-ban a töltéshordozók mozgékonyága kétszerese a Si vagy GaAs, GaN kristályokhoz képest ...”

Valóban, a SiC-ban az elektron mozgékonyága kisebb, mint Si-ban, GaAs-ben vagy GaN-ben. Viszont az elektron driftsebessége kétszeres SiC-ban mint Si-ban és GaAs-ban. A kétségtelenül helytelen megfogalmazású szöveg után viszont az 5. táblázat adatai helyesek.

Még egyszer megköszönöm munkám gondos áttanulmányozását és a bírálatot, remélem sikerült a felmerült kérdésekre kielégítő válaszokat adnom.

Budapest, 2017. március 26.