

Precipitációs folyamatok és termikus donorképződés a szilícium alapú integrált áramkörgyártási technológiában

SALLAH NOUREDDIN
DR. KORMÁNY TERÉZ
BME Elektronikus Eszközök Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

Szilícium egykristály-szeletekben a precipitációs folyamatokat és a termikus donorképződést vizsgáljuk, különböző hőkezelési sorrendek esetén. Közepes kiindulási oxigéntartalom esetén magashőmérsékletű 1200 °C előhőkezelés és a hosszantartó 650 °C-os hőkezelés a precipitációt segíti elő

A termikus donorok és új donorok kiküszöbölésére a technológiai sorban célszerű 1000 °C-os hőkezelést alkalmazni 450 °C-os, 600 °C-os és 800 °C-os hőmérsékletű lépések után.

1. Bevezetés

A jelenlegi monolit integrált áramkörgyártás alapanyaga a Czochralski módszerrel előállított szilícium egykristály. Az előállítási körülményektől függően ez az alapanyag $\leq 10^{17} - 2 \cdot 10^{18} \text{ a cm}^{-3}$ intersticiális oxigént és $\leq 5 \cdot 10^{15} - 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ szubsztencionális szenet tartalmaz. A kiindulási szén és oxigénkoncentráció meghatározza a keletkező SiO_2 alapú precipitátumok koncentrációját, valamint a precipitátumok keletkezésének helyét felületi rétegben ill. a kristály belsejében.^{[1], [2]}

A monolit integrált áramkörgyártási technológiákat különböző hőmérsékleti sorrendek jellemzik és ennek megfelelően azonos kiindulási oxigén és szénkoncentrációk esetén is eltérőek lehetnek a precipitációs folyamatok attól függően, hogy nMOS, CMOS; vagy bipoláris technológiát, ill. azok valamely speciális megoldását alkalmazzuk.

Kísérleteink azt célozták, hogy megállapítsuk milyen szerepe van a technológiák különböző hőmérsékleti sorrendjének a precipitációs folyamatra. Ennek alapján lehet ugyanis dönten, hogy milyen sorrendhez, milyen kiindulási oxigén és szénkoncentrációk engedhetők meg. Tekintettel arra, hogy a legáltalánosabban ma közepes oxigéntartalmú ($5 - 7 \cdot 10^{17} \text{ Acm}^{-3}$) szilícium egykristályokat használnak fel monolit IC-k alapanyagául ezért kísérleteinkbe ilyen Si-szeleteket vontunk be.

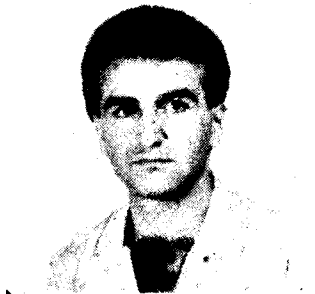
DR. KORMÁNY TERÉZ

Az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen szerzett vegyész oklevelet. 1958—1982 között a Távközlési Kutatóintézetben dolgozott. 1982 óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén docens. Puskás-, Pollack—Virág- és MTSZ díjas. A HTE és a MTSZ elnökségi tagja, részt vesz több egye-

sület munkájában. Kutatási területe az elektronikus anyagok vizsgálata és a mikroelektronikai technológia. Vendégkutatóként dolgozott Bécsben a Műszaki Egyetemen, Berlinben és Stuttgartban a Max Planck-intézetben Novoszibirszkben a Félvezető Fizikai, valamint Szerzetlen Kémiai Intézetekben.

SALAH NOUREDDIN

1978-ban szerzett tanári diplomát a szíriai Tudományegyetemen. Ezt követően matematikát és fizikát oktatott. 1984 szeptemberétől aspiránsként dolgozik a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén. A szilícium egykristályok hibastruktúráinak vizsgálatával foglalkozik. Eredményeiről nemzetközi konferenciákon számolt be.



2. A kísérleti munka ismertetése

A vizsgálatok kb. 40 Si-minta szeletekre vonatkoztak.

Az oxigéntartalom a legtöbb mintánál közepes volt, néhány szeleten elérte a $8,6 \cdot 10^{17} \text{ Acm}^{-3}$ -ert, széntartalmuk $5 \cdot 10^{15} - 9 \cdot 10^{16} \text{ Acm}^{-3}$ között változott. A széntartalom változás arra vezethető vissza, hogy a Si-kristályokat előállító cégek előállítási módszerüktől függően eltérő széntartalommal szállítják a Si-hordozókat.

A széntartalom precipitációt befolyásoló hatásának vizsgálata nemcsak a jelenség fizikájának megértése szempontjából fontos, hanem az integrált áramkör IC gyártási technológia reprodukálhatósága miatt is. Ezen közleményünkben azokat a vizsgálatokat tárgyaljuk, amelyekkel az IC-előállítási technológiát megelőző magas hőmérsékletű hőkezelés (1220 °C , 2^h) és a precipitáció közötti

Beérkezett: 1988. VIII. 31. (↑)

összefüggést kívántuk felderíteni. Az alkalmazott hőmérsékleti sorrend az 1. ábrán, a Si-szeletek jellemző paraméterei az 1. táblázatban találhatóak.

Az SC5, S17, S18, S20, és S28_a jelű szeleteknél nem alkalmaztunk előhőkezelést. A SC6, SC7, SC8, SC16 jelzésűeknél viszont igen. A 2. táblázatban a precipitáció mértékére utaló intersticiális oxigén koncentráció értékek találhatóak.

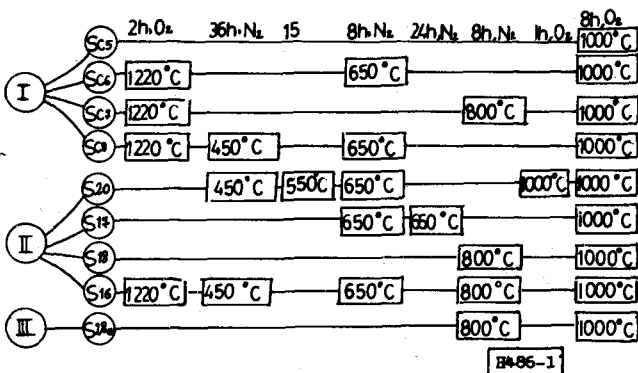
Az oxigén koncentrációcsökkenés precipitációra utal.

A 2. táblázatból kitűnik, hogy a 650 °C végzett hosszantartó hőkezelés nagymértékben elősegíti a precipitátumok képződését (maximális O_i csökkenés) a hatás még jelentékenyebbé válik ha előhőkezelést alkalmazunk.

Szállító cég	Szelet jele	Típus	Addék	Ori- náción	Vas- tag- ság (μm)	$\bar{\rho}$ (g/cm^3)	$[\bar{O}_i]$ ($\times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)	$[\bar{C}_S]$
I	SC5, SC6, SC7, SC8	n	P	(100)	390	4,46	4,43	0,52
II	S16, S17, S18, S20	p	B	(111)	400	9,35	5,72	0,72
III	S28 _a	P	B	(111)	380	2,29	5,72	0,40

B486-1T

1. táblázat. A kísérleti Si-szeletek jellemző paraméterei



B486-1

1. ábra. A kísérlet hőmérsékleti sorrendje

A Si szeletek ellenállásértékei csak akkor mutatnak jelentős változást (ld. 3. táblázat), ha hosszantartó 36 órás 450 °C-os hőkezelést alkalmazunk (termikus donorok képződése) vagy a hőmérsékleti sorrendben a hosszantartó 20 órás 650 °C-os hőkezelést 800 °C-os és 650 °C-os hőkezelést követte (új donorok keletkezése). Termikus donorképződésre utaló fajlagos ellenállás növekedést tapasztaltunk akkor is, ha 450 °C-os és 650 °C-os hőkezelési lépések követték egymást.

Szelet jele	$[O_i]$ ($\times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)	Eldhők. $t(O_i)$ hők. után						$\frac{[O_i] - [O_i]_0}{[O_i]_0}$ ($\times 10^2 \text{cm}^{-3}$)
		1220°C	450°C	550°C	650°C	800°C	1000°C	
S20	587	—	5,50	5,90	5,49	—	4,99	0,88
S17	5,82	—	—	—	5,59	2,95	2,91	2,91
S18	5,55	—	—	—	—	5,53	4,69	0,86
S28 _a	5,72	—	—	—	—	5,80	5,39	0,33
SC5	6,98	—	—	—	—	—	6,17	0,81
SC6	6,10	6,46	—	—	6,03	—	6,20	0,1
SC7	6,14	6,81	—	—	—	6,21	5,90	0,24
SC8	6,52	6,72	6,27	—	5,73	—	3,41	3,11
S16	5,64	5,54	5,51	—	5,44	2,50	1,58	4,06

B486-2T

2. táblázat. Oxigéntartalom hőkezelés után

Szelet jele	ρ ($\Omega\text{-cm}$)	ρ hők. után ($\Omega\text{-cm}$)					
		1220°C	450°C	550°C	650°C	800°C	1000°C
S20	9,5	—	45,42	12,50	9,80	—	9,30
S17	9,50	—	—	—	10,70	23,70	9,21
S18	9,69	—	—	—	—	9,79	10,10
S28 _a	2,29	—	—	—	—	2,60	2,30
SC5	3,96	—	—	—	—	—	4,02
SC6	4,87	4,92	—	—	4,82	—	4,21
SC7	4,95	4,90	—	—	—	4,82	4,23
SC8	4,08	4,15	1,40	—	3,82	—	4,02
S16	9,27	14,30	54,80	—	11,30	20,60	10,90

B486-3T

3. táblázat. Ellenállásértékek hőkezelés után

3. Az eredmények értékelése

A vizsgálati adatokat részletesen elemezve megállapítható, hogy az IC technológiához általánosan felhasznált közepes kezdeti oxigéntartalmú szeleteknél az 1000 °C-os hőkezelést megelőző hőmérsékleti sorrendek csak akkor idéznek elő jelentős mértékű precipitálódást, ha a hőmérsékleti sorban a 650 °C-os hőkezelés időtartama meghaladná a 20 órát.

Az irodalomból ismeretes^{[3], [4]}, hogy ezen a hőmérsékleten képződnek a SiC₂ precipitátumok göccsei, amelyek aztán a 800—1000 °C-os lépésekben tovább növekednek. Ez a hatás 1000 °C-os előhőkezeléssel tovább fokozható. A technológus számára ebből az a következtetés adódik, hogy ha a precipitálódás elősegítése a cél, pl. szennyezők ún.

belső getterezéssel való hatástalanítása miatt, akkor nagyon hasznos a teljes technológia folyamatot megelőző magashőmérsékletű előhőkezelés.

A 450 °C-os ill. a 650 °C—800 °C-os hőkezelések hatására termikus donorok és az ún. új donorok alakulhatnak ki.^{[5], [6], [7], [8]}

Az 1000 °C-os hőkezelés hatására azonban mind a termikus, mind az ún. új donorokat meg lehetett szüntetni. Az IC-technológiában, tehát nagyon kritikusán kell szemlélünk az egyéb szempontokból előnyös alacsony hőmérsékletű technológiai lépéseket, mert nem kívánatos ellenállásváltozást idézhetnek elő a szubsztrátumban. Ezek a lépések különösen akkor veszélyesek, ha nem követi őket egy magashőmérsékletű pl. 1000 °C-on elvégzett technológiai művelet.

Tekintettel arra, hogy az IC-technológiák befejező műveleteiben általában 400—480 °C-os hőmérsékletű lépések fordulnak elő, további kísérletekkel kell tisztázni a termikus donorképződés időfüggését. Ennek alapján lehet ugyanis megadni, hogy adott oxigén- és széntartalmú Si-szubsztrátumok alkalmazása esetén milyen időtartamúak lehetnek a befejező műveletek.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Dr. Hild Erzsébetnek a kísérleti munkában nyújtott segítségért, valamint értékes tanácsaiért.

IRODALOM

- ^[1] P. Gaworzevski, E.Hild, F-G Kirscht and L. Vescernyés. Phys. Stat. Sol. (a) 85, 133 (1984)
- ^[2] T. Kormány, PROC. of GADEST 85. p.336
- ^[3] T. Izuka, Jap. J. Appl. phys. 21 (1) 1 (1982)
- ^[4] S.I.Somae, S. Aoki and K. Watanabe J. Appl. phys. 55(4) p.817 (1984)
- ^[5] John w.Cleland, J. Electrohem. Soc. 129 No9 p.2127 (1982)
- ^[6] W. Kaiser, H.L.Frisch and H.Ress Phys.Rev. No5 P. 1546 (1958)
- ^[7] M.Reiche and W.Nitzcshe PROC. of GADEST 87 P.98
- ^[8] A.Kanamori and M. Kanamori J. Appl. phys. 50 P. 8095 (1979)