

Prova Scritta — AA 2007–2008
Giovedì 25 Ottobre 2007

COGNOME, NOME E N. DI MATRICOLA _____

NOME DEL CL E ANNO DI CORSO (2°, 3°, FC) _____

**Acconsento alla pubblicazione
su *web* dell'esito di questa
prova scritta: Sì — No**

Firma _____

D01: Un profilo di drogaggio gaussiano

$$N(x) = 2N_0 \frac{\exp(-x^2/c_1)}{\sqrt{\pi c_1}},$$

con $c_1 = 1.0 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$, viene sottoposto a un processo di diffusione termica nel quale si ha $c_2 = [3, 15, 35, 99, 323] \times 10^{-8} \text{ cm}^2$. Il risultato è un profilo di drogaggio diverso da quello originale. Si trovi il valore in micron dell'ascissa in cui il drogaggio del profilo iniziale ha lo stesso valore che quello finale ha nell'origine.

[Risposta corretta: 5 punti. Nessuna risposta: 0 punti. Risposta errata: -1.25 punti.]

{ 0.83 ± 5%.} { 1.24 ± 5%.} { 1.41 ± 5%.} { 1.59 ± 5%.} { 1.79 ± 5%.} [Si usino tre cifre significative. I calcoli non devono essere riportati su questo foglio.]

D02: Si calcoli, in centimetri al minuto, la velocità di reazione di un processo epitassiale su silicio che in 5 minuti accresce uno strato di spessore $s = [2, 4, 6, 8, 10] \mu\text{m}$. Per la concentrazione superficiale del tetracloruro di silicio e il volume atomico del silicio si usino rispettivamente i valori $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ e $(5 \times 10^{22})^{-1} \text{ cm}^3$.

[Risposta corretta: 5 punti. Nessuna risposta: 0 punti. Risposta errata: -1.25 punti.]

{ 200 ± 5%.} { 400 ± 5%.} { 600 ± 5%.} { 800 ± 5%.} { 1000 ± 5%.} [Si usino tre cifre significative. I calcoli non devono essere riportati su questo foglio.]

D03: Una dose di fosforo viene impiantata con una velocità degli ioni $u = [5, 6, 7, 8, 9] \times 10^7 \text{ cm/s}$. Si trascuri la massa dell'elettrone e si usi il valore $m = 5.14 \times 10^{-23} \text{ g}$ per la massa dello ione fosforo. Si determini la forza magnetica (in dine) che serve a ottenere un raggio di 257 cm della traiettoria percorsa dagli ioni all'interno del filtro magnetico.

[Risposta corretta: 5 punti. Nessuna risposta: 0 punti. Risposta errata: -1.25 punti.]

{ $5 \times 10^{-10} \pm 5\%$.} { $7.2 \times 10^{-10} \pm 5\%$.} { $9.8 \times 10^{-10} \pm 5\%$.} { $12.8 \times 10^{-10} \pm 5\%$.} { $16.2 \times 10^{-10} \pm 5\%$.} [Si usino tre cifre significative. I calcoli non devono essere riportati su questo foglio.]

D04: Una fetta di silicio ricoperta di uno strato di ossido dello spessore di 80 nm viene sottoposta a un'ossidazione termica il cui coefficiente lineare è $1 \mu\text{m/h}$. Se il rapporto fra il coefficiente di diffusione della specie ossidante nell'ossido e la velocità di reazione all'interfaccia ossido-silicio vale $r = 50 \text{ nm}$, si calcoli quanti minuti sono necessari per raggiungere uno spessore finale di ossido pari a $[150, 200, 250, 300, 350] \text{ nm}$.

[Risposta corretta: 5 punti. Nessuna risposta: 0 punti. Risposta errata: -1.25 punti.]

{ 14 ± 5%.} { 27 ± 5%.} { 44 ± 5%.} { 63 ± 5%.} { 86 ± 5%.} [Si usino tre cifre significative. I calcoli non devono essere riportati su questo foglio.]

D05: Una fetta di silicio viene sottoposta a una crescita epitassiale che produce uno strato aggiuntivo di silicio dello spessore di $s = 17 \mu\text{m}$. Al termine del processo il peso della fetta è aumentato di $\Delta P = [0.32, 0.73, 1.28, 2.00, 2.90] \text{ g}$ rispetto a quello iniziale. Assumendo per il peso specifico del silicio il valore $p_{\text{Si}} = 2.33 \text{ g/cm}^3$, si trova che il diametro della fetta espresso in pollici vale:

[Risposta corretta: 5 punti. Nessuna risposta: 0 punti. Risposta errata: -1.25 punti.]

{ 4'.} { 6'.} { 8'.} { 10'.} { 12'.} [Si usi il fattore di conversione $1' = 2.54 \text{ cm}$. Si usino tre cifre significative. I calcoli non devono essere riportati su questo foglio.]

D06: Una dose di boro di $[3.97, 8.10, 32.5, 55.6, 71.2] \times 10^{15} \text{ ioni/cm}^2$ viene impiantata con un processo della durata di 27 s e con una concentrazione del fascio ionico di $2.6 \times 10^8 \text{ ioni/cm}^3$. Usando il valore $1.81 \times 10^{-23} \text{ g}$ per la massa dello ione, si trova che l'energia d'impianto espressa in eV vale

[Risposta corretta: 5 punti. Nessuna risposta: 0 punti. Risposta errata: -1.25 punti.]

{ 1.81 ± 5% eV.} { 7.53 ± 5% eV.} { 121 ± 5% eV.} { 355 ± 5% eV.} { 582 ± 5% eV.} [Si usino tre cifre significative. I calcoli non devono essere riportati su questo foglio.]

D07: Nella elettrolitografia è opportuno che la lunghezza d'onda associata alla dinamica degli elettroni sia:

[Risposta corretta: 2 punti. Nessuna risposta: 0 punti. Risposta errata: -0.5 punti.]

La minore possibile, per evitare di danneggiare il *resist*.} La maggiore possibile, compatibilmente col vincolo che gli elettroni non oltrepassino lo spessore della fetta.} La minore possibile, per evitare di danneggiare il substrato.}
 La minore possibile, compatibilmente col vincolo che gli elettroni non producano elettroni secondari nel *resist*.} Esattamente quella compatibile con il contrasto del *resist* usato.}

D08: Nella tecnologia planare, i *chip* si trovano:

[Risposta corretta: 2 punti. Nessuna risposta: 0 punti. Risposta errata: -0.5 punti.]

Nelle zone della fetta dove sono stati localizzati i difetti cristallografici, in modo tali che questi siano completamente ricoperti dai *chip*.} In tutto lo spessore della fetta, in modo che la maggior parte del volume di questa sia occupato dai *chip*.} Nella parte centrale della fetta nel senso del diametro, cioè lontani quanto possibile dalla circonferenza della fetta.} Nella parte centrale della fetta nel senso dello spessore, cioè lontani quanto possibile dalla faccia superiore e da quella inferiore della fetta.} In una delle due regioni superficiali della fetta, della quale occupano uno spessore piccolo rispetto a quello totale.}

Prova scritta — AA 2007–2008
Giovedì 25 ottobre 2007
RISPOSTE

A01: Un profilo di drogaggio gaussiano

$$N(x) = 2N_{\square} \frac{\exp(-x^2/c_1)}{\sqrt{\pi c_1}},$$

con $c_1 = 1.0 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$, viene sottoposto a un processo di diffusione termica nel quale si ha $c_2 = [3, 15, 35, 99, 323] \times 10^{-8} \text{ cm}^2$. Il risultato è un profilo di drogaggio diverso da quello originale. Si trovi il valore in micron dell'ascissa in cui il drogaggio del profilo iniziale ha lo stesso valore che quello finale ha nell'origine.

Dal momento che il profilo finale ha la forma

$$N_F(x) = 2N_{\square} \frac{\exp[-x^2/(c_1 + c_2)]}{\sqrt{\pi(c_1 + c_2)}},$$

chiamando x_0 l'ascissa cercata deve essere $N(x_0) = N_F(0)$, da cui

$$\exp(-x_0^2/c_1) = \sqrt{\frac{c_1}{c_1 + c_2}}, \quad x_0 = \left[\frac{c_1}{2} \log \left(1 + \frac{c_2}{c_1} \right) \right]^{1/2} = [0.83, 1.18, 1.34, 1.52, 1.70] \text{ } \mu\text{m}.$$

A02: Si calcoli, in centimetri al minuto, la velocità di reazione di un processo epitassiale su silicio che in 5 minuti accresce uno strato di spessore $s = [2, 4, 6, 8, 10] \text{ } \mu\text{m}$. Per la concentrazione superficiale del tetracloruro di silicio e il volume atomico del silicio si usino rispettivamente i valori $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ e $(5 \times 10^{22})^{-1} \text{ cm}^3$.

Indicando con t_P la durata del processo valgono le relazioni

$$c_l = \frac{s}{t_P} = wN_S v_r,$$

da cui, ricordando che $1 \text{ } \mu\text{m} = 10^{-4} \text{ cm}$,

$$v_r = \frac{s}{t_P w N_S} = [200, 400, 600, 800, 1000] \text{ cm/min}.$$

A03: Una dose di fosforo viene impiantata con una velocità degli ioni $u = [5, 6, 7, 8, 9] \times 10^7 \text{ cm/s}$. Si trascuri la massa dell'elettrone e si usi il valore $m = 5.14 \times 10^{-23} \text{ g}$ per la massa dello ione fosforo. Si determini la forza magnetica (in dine) che serve a ottenere un raggio di 257 cm della traiettoria percorsa dagli ioni all'interno del filtro magnetico.

Ricordando che

$$F = quB, \quad r = \frac{um}{qB} = \frac{mu^2}{F},$$

si trova

$$F = \frac{mu^2}{r} = [5, 7.2, 9.8, 12.8, 16.2] \times 10^{-10} \text{ dyn}.$$

A04: Una fetta di silicio ricoperta di uno strato di ossido dello spessore di 80 nm viene sottoposta a un'ossidazione termica il cui coefficiente lineare è $1 \text{ } \mu\text{m/h}$. Se il rapporto fra il coefficiente di diffusione della specie ossidante nell'ossido e la velocità di reazione all'interfaccia ossido-silicio vale $r = 50 \text{ nm}$, si calcoli quanti minuti sono necessari per raggiungere uno spessore finale di ossido pari a $[150, 200, 250, 300, 350] \text{ nm}$.

Ricordando che $c_l = wk_0 N_G v_r$ e $c_p = 2wk_0 N_G D$ si trova

$$r = \frac{D}{v_r} = \frac{c_p}{2c_l}$$

da cui, osservando che $c_l = 16.67 \text{ nm/min}$,

$$t_P = \frac{(s^2 - s_i^2)/(2r) + s - s_i}{c_l} = [13.9, 27.4, 43.9, 63.4, 85.9] \text{ min}.$$

A05: Una fetta di silicio viene sottoposta a una crescita epitassiale che produce uno strato aggiuntivo di silicio dello spessore di $s = 17 \mu\text{m}$. Al termine del processo il peso della fetta è aumentato di $\Delta P = [0.32, 0.73, 1.28, 2.00, 2.90]$ g rispetto a quello iniziale. Assumendo per il peso specifico del silicio il valore $p_{\text{Si}} = 2.33 \text{ g/cm}^3$, e usando il fattore di conversione $1' = 2.54 \text{ cm}$, si trovi il diametro della fetta espresso in pollici.

Si trova

$$\Delta P = p_{\text{Si}} s \pi \frac{D^2}{4}, \quad D = 2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\pi s p_{\text{Si}}}} = [4', 6', 8', 10', 12'] .$$

A06: Una dose di boro di $[3.97, 8.10, 32.5, 55.6, 71.2] \times 10^{15}$ ioni/cm² viene impiantata con un processo della durata di 27 s e con una concentrazione del fascio ionico di 2.6×10^8 ioni/cm³. Usando il valore 1.81×10^{-23} g per la massa dello ione, si trovi l'energia d'impianto espressa in eV.

Dalle

$$N_{\square} = t_P F = t_P u c_I, \quad u = \frac{N_{\square}}{c_I t_P} = [5.66, 11.5, 46.3, 79.2, 101] \times 10^5 \text{ cm/s}$$

si trova, usando il fattore 1.60×10^{-19} per convertire il valore espresso in J in quello espresso in eV,

$$E = \frac{1}{2} m u^2 = [1.81, 7.53, 121, 355, 582] \text{ eV} .$$

A07: Nella elettrolitografia è opportuno che la lunghezza d'onda associata alla dinamica degli elettroni sia la minore possibile, compatibilmente col vincolo che gli elettroni non producano elettroni secondari nel *resist*.

A08: Nella tecnologia planare, i *chip* si trovano in una delle due regioni superficiali della fetta, della quale occupano uno spessore piccolo rispetto a quello totale.