



Patent dodatkowy
do patentu nr 116 691

Zgłoszono: 14.12.77 (P. 202926)

Pierwszeństwo _____

Zgłoszenie ogłoszono: 16.07.79

Opis patentowy opublikowano: 31.01.1984

Int. Cl.³

H01L 21/205
C30B 25/02

CZYTELNIA

Urząd Patentowy
Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej

Twórcy wynalazku: Jerzy Borkowicz, Jerzy Korec, Elżbieta
Nossarzewska-Orłowska

Uprawniony z patentu: Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
Warszawa (Polska)

Sposób prowadzenia procesu epitaksji krzemu z fazy gazowej, zwłaszcza na podłożu krzemowym

1

Wynalazek dotyczy sposobu określania parametrów technologicznych procesu epitaksji krzemu z fazy gazowej gwarantujących monokrystaliczną strukturę nanoszonej warstwy i optymalnych pod kątem uzyskania skokowego złącza epitaksjalnego typu p-n lub l-h.

W dotychczasowym stanie techniki wiadomo, że wykonanie skokowego złącza epitaksjalnego wymaga minimalizacji czasu trwania procesu oraz temperatury podłoża epitaksjalnego, przy czym czas trwania procesu określony jest wymaganą grubością warstwy epitaksjalnej oraz szybkością jej wzrostu zależną od stosowanych stężeń reagentów i temperatury podłoża epitaksjalnego, jak zostało to przedstawione w polskim opisie patentowym nr 116691, w którym opisano sposób prowadzenia procesu epitaksji polegający na przepływowym przeprowadzeniu gazu nośnego zawierającego związek krzemu, korzystnie wodoru zawierającego SiCl_4 przez chłodzoną komorę reakcyjną, w której znajduje się płytka podłożowa zwłaszcza krzemowa podgrzewana do wysokiej temperatury a gaz nośny zawierający związek krzemu jest wprowadzony do komory reakcyjnej w temperaturze niskiej, korzystnie pokojowej i w komorze reakcyjnej podgrzewa się zasadniczo od płytki podłożowej do temperatury o około kilkaset stopni Kelwina niższej od temperatury podłoża, po czym redukuje się związek krzemu zawarty w gazie nośnym i osadza się monokrystaliczną warstwę krzemu na

2

płytkę podłożową, oraz na tym, że płytka podłożowa znajduje się w temperaturze 1223—1393 K, korzystnie 1323—1373 K, temperatura gazu nośnego i zawartego w nim związku krzemu jest od około 573 K do 873 K niższa od temperatury podłoża, a stężenie związku krzemu w gazie nośnym wynosi od 0,0005 do 0,0125 ułamka molowego, prędkość przepływu gazu przepływającego przez komorę wynosi od około 50 do około 220 litrów/minutę, a wolny przekrój poprzeczny komory wynosi od około 20 do około 100 cm^2 , co określa prędkość wzrostu warstwy epitaksjalnej na 0,1—0,7 $\mu\text{m}/\text{minutę}$, przy czym korzystnie jest jeśli parametry prowadzenia procesu są związane zależnościami

$$v^{-1} = [A_0 + A_1 \exp(K_1/T)] C^{-1} + A_2 \exp(K_2/T)$$

określającą zasadniczo temperaturę podłoża i szybkość wzrostu epitaksjalnego, a także są związane zależnościami:

$$C \leq \frac{A_0}{A_2 \exp(K_2/T)} \left[1 - \frac{A_0}{A_1 \exp(K_1/T)} \right]$$

określającą zasadniczo temperaturę podłoża i stężenie związku krzemu w gazie, w których to zależnościach v oznacza szybkość wzrostu epitaksjalnego w μm na minutę, T oznacza temperaturę podłoża w stopniach Kelwina, C wyrażone w % oznacza ułamek molowy związku krzemu w gazie, A_0 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od wymiarów i kształtu komory reakcyjnej wynoszą-

cym od 0,1 do 0,6, A_1 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od rodzaju redukowanego związku krzemu, rodzaju podłoża i średniej temperatury gazu nośnego nad powierzchnią płytki podłożowej i wynosi od $5 \cdot 10^{-12}$ do $1 \cdot 10^{-8}$, K_1 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od rodzaju redukowanego związku krzemu i od rodzaju podłoża i wynosi od $20 \cdot 10^3$ do $32 \cdot 10^3$, K_2 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od rodzaju redukowanego związku krzemu i od rodzaju podłoża i wynosi od $17 \cdot 10^3$ do $25 \cdot 10^3$, A_2 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od rodzaju podłoża i wynosi od 10^{-10} do 10^{-7} a skrót exp jest oznaczeniem funkcji eksponencjalnej.

W niniejszym zgłoszeniu podano sposób określenia maksymalnej wartości szybkości wzrostu warstwy, dla danej temperatury podłoża, która gwarantuje jeszcze monokrystaliczną strukturę nanoszonej warstwy epitaksjalnej i z tego względu nie może być przekraczana:

$$V \leq V_{kr} = \frac{1}{2 \cdot A_2 \cdot \exp(K_2/T)} \cdot \left[1 - \frac{A_1 \cdot \exp(K_1/T)}{A_0} \right] \quad (1)$$

We wzorze V oznacza szybkość wzrostu epitaksjalnego w μm na minutę, V_{kr} oznacza krytyczną szybkość wzrostu, T oznacza temperaturę podłoża w stopniach Kelwina, a A_0 , A_1 , K_1 , A_2 , K_2 oznaczają współczynniki empiryczne dobierane dla danego urządzenia do epitaksji według patentu nr 116691.

Ze względu na konieczność minimalizacji czasu trwania procesu i temperatury podłoża oczywistym jest, że optymalna szybkość wzrostu warstwy znajduje się na rysunku przedstawiającym zależność szybkości wzrostu warstwy V od temperatury podłoża T na linii krytycznej szybkości wzrostu V_{kr} . Jednakże, nie znany jest prosty sposób ustalenia temperatury podłoża T_{op} określającej optymalną szybkość wzrostu warstwy epitaksjalnej V_{op} . W tym celu należy przeprowadzić skomplikowaną optymalizację numeryczną, która powinna podlegać pracochłonnej weryfikacji doświadczalnej.

Istota wynalazku polega na sposobie ustalenia temperatury podłoża T_{op} , określającej optymalną szybkość wzrostu warstwy V_{op} , poprzez wykreślenie na rysunku przedstawiającym zależność logarytmu krytycznej szybkości wzrostu V_{kr} od odwrotności temperatury podłoża T^{-1} stycznej o nachyleniu równym K_d odpowiadającym energii aktywacji dyfuzji w krzemie domieszki tworzącej złącze epitaksjalne. Optymalne parametry procesu epitaksji, dla danego urządzenia, podlegają więc następującym zależnościom:

$$T_{op}^{-1} = K_1^{-1} \cdot \ln \left(\frac{A_0}{A_1} \cdot \frac{K_d - K_2}{K_d - K_2 + K_1} \right) \quad (2)$$

$$V_{op} = \frac{1}{2 \cdot A_2 \cdot \exp(K_2/T_{op})} \cdot \left[1 - \frac{A_1 \cdot \exp(K_1/T_{op})}{A_0} \right] \quad (3)$$

$$C_{op} = 2 \cdot A_0 \cdot V_{op} \quad (4)$$

$$t_{op} = \frac{d}{V_{op}} \quad (5)$$

gdzie: T_{op} oznacza optymalną temperaturę podłoża wyrażoną w stopniach Kelwina, V_{op} oznacza optymalną szybkość wzrostu warstwy w μm na minutę, C_{op} oznacza optymalny ułamek molowy związku krzemu w gazie, t_{op} oznacza optymalny czas wzrostu warstwy, d oznacza wymaganą grubość warstwy epitaksjalnej, K_d oznacza energię aktywacji dyfuzji domieszki tworzącej złącze epitaksjalne podzieloną przez stałą Boltzmanna, a A_0 , A_1 , K_1 , A_2 i K_2 oznaczają współczynniki empiryczne dobrane dla danego urządzenia do epitaksji według patentu nr 116691.

Przykładem zastosowania wynalazku jest ustalenie optymalnych parametrów procesu epitaksji krzemu, w którym ma być otrzymane złącze epitaksjalne $n-n^+$ utworzone przez antymon będący domieszką w podłożu epitaksjalnym. Sposób postępowania przedstawiony został na rysunku. Po dobraniu współczynników zastępczych dla danego urządzenia do epitaksji: A_0 , A_1 , K_1 , A_2 i K_2 , według patentu nr 116691 i określeniu w ten sposób zależności szybkości wzrostu V od parametrów technologicznych procesu oraz krytycznej szybkości wzrostu V_{kr} od temperatury podłoża T została wykreślona prosta, o nachyleniu K_d odpowiadającym energii aktywacji dyfuzji antymonu w krzemie, styczna do linii V_{kr} .

Punkt styczności określa optymalne parametry procesu epitaksji poprzez zależności (2, 3, 4, 5). Dopuszczalne jest stosowanie temperatur podłoża z zakresu od $T_{op} - 20^\circ$ do temperatury $T_{op} + 30^\circ$ przy uwzględnieniu warunku, aby szybkość wzrostu warstwy była mniejsza od krytycznej szybkości wzrostu V_{kr} , czyli znajdowała się na rysunku wewnątrz obszaru zakresowanego. Stosowanie szybkości wzrostu mniejszych od V_{kr} zmniejsza skokowość złącza lecz zmniejsza również czułość szybkości wzrostu warstwy na różnice temperatury podłoża, a więc poprawia rozkład grubości warstw nanoszonych na podłoża, a więc w różnych miejscach grzejnika.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób prowadzenia procesu epitaksji krzemu z fazy gazowej, zwłaszcza na podłożu krzemowym przez redukcję związku krzemu wprowadzonego do komory reakcyjnej wraz ze strumieniem wodoru, polegający na przepływowym przeprowadzaniu gazu nośnego zawierającego związek krzemu, korzystnie wodoru zawierającego SiCl_4 przez chłodzoną komorę reakcyjną, w której znajduje się płytka podłożowa zwłaszcza krzemowa podgrzewana do wysokiej temperatury a gaz nośny zawierający związek krzemu jest wprowadzany do komory reakcyjnej w temperaturze niskiej, korzystnie pokojowej i w komorze reakcyjnej podgrzewa się zasadniczo od płytki podłożowej do temperatury o około kilkaset stopni Kelwina niższej od temperatury podłoża, po czym redukuje się związek krzemu zawarty w gazie nośnym i osadza się monokrystaliczną warstwę krzemu na płycie podłożowej, oraz na tym, że płytka podłożowa znajduje się w temperaturze 1223—1393 K, korzystnie 1323—1373 K, temperatura gazu nośnego i zawar-

tego w nim związku krzemu jest od około 573 K do 873 K niższa od temperatury podłoża, a stężenie związku krzemu w gazie nośnym wynosi od 0,005 do 0,0125 ułamka molowego, prędkość przepływu gazu przepływającego przez komorę wynosi od około 50 do około 200 litrów/minutę, a wolny przekrój poprzeczny komory wynosi od około 20 do około 100 cm², co określa prędkość wzrostu warstwy epitaksjalnej na 0,1–0,7 μm/minutę, przy czym korzystnie jest jeśli parametry prowadzenia procesu są związane zależnością:

$$v^{-1} = [A_0 + A_1 \exp(K_1/T)] C^{-1} + A_2 \exp(K_2/T)$$

określającą zasadniczą temperaturę podłoża i szybkość wzrostu epitaksjalnego, a także są związane zależnością:

$$C \leq \frac{A_0}{A_2 \exp(K_2/T)} \left[1 - \frac{A_0}{A_1 \exp(K_1/T)} \right]$$

określającą zasadniczo temperaturę podłoża i stężenie związku krzemu w gazie, w których to zależnościach v oznacza szybkość wzrostu epitaksjalnego w μm na minutę, T oznacza temperaturę podłoża w stopniach Kelwina, C wyrażona w % oznacza ułamek molowy związku krzemu w gazie, A_0 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od wymiarów i kształtu komory reakcyjnej wynoszącym od 0,1 do 0,6, A_1 jest współczynnikiem

empirycznym zależnym od rodzaju redukowanego związku krzemu, rodzaju podłoża i średniej temperatury gazu nośnego nad powierzchnią płytki podłożowej i wynosi od $5 \cdot 10^{-12}$ do $1 \cdot 10^{-8}$, K_1 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od rodzaju redukowanego związku krzemu i od rodzaju podłoża i wynosi od $20 \cdot 10^3$ do $32 \cdot 10^3$, K_2 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od rodzaju redukowanego związku krzemu i od rodzaju podłoża i wynosi od $17 \cdot 10^3$ do $25 \cdot 10^3$, A_2 jest współczynnikiem empirycznym zależnym od rodzaju podłoża i wynosi od 10^{-10} do 10^{-7} a skrót $\exp$ jest oznaczeniem funkcji eksponencjalnej, według patentu nr 116691 **znamienny tym**, że temperatura (T_{op}) powierzchni podłoża epitaksjalnego dobierana jest w zależności od rodzaju domieszki tworzącej złącze epitaksjalne na podstawie zależności:

$$\frac{1}{T_{op}} = \frac{1}{K_1} \cdot \ln \left(\frac{A_0}{A_1} \cdot \frac{K_d - K_2}{K_d - K_2 + K_1} \right)$$

w której K_d oznacza energię aktywności dyfuzji domieszki podzieloną przez stałą Boltzmana, A_0 , A_1 , K_1 , K_2 oznaczają współczynniki empiryczne dobrane dla danego urządzenia do epitaksji.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że stosowana temperatura podłoża mieści się w zakresie temperatur od $T_{op} - 20^\circ$ do temperatury $T_{op} + 30^\circ$.