

(111) 基板의 실리콘 單結晶層 成長時 發生하는
패턴 移動 現象의 分析

(An Analysis of Pattern Shift in the Epitaxial
Growth of Silicon on (111) Substrates)

白文哲*, 趙庚翼*, 宋成海*

(Moon Cheol Paek, Kyoung Ik Cho and Sung Hae Song)

要 約

(111) 실리콘 基板의 單結晶層 成長時에 發生하는 패턴 移動 現象에 대하여 理論的 모델을 設定하여 分析하였다. 모델의 設定을 위하여 가장 큰 影響 因子로써 成長 速度 異方性を 考慮하였으며, 基板의 偏向 角度와 工程 溫度를 變數로 하였다. 成長 速度 異方性を 基板의 偏向 角度에 대한 正弦 函數로 假定하였고, 工程 溫度와의 關係는 成長 速度 異方性 係數를 定義하여, 패턴 移動率을 基板의 偏向 角度와 工程 溫度의 函數로 表示한 理論式을 구하였다.

實驗으로 부터 얻은 實測値와 모델에 의한 理論値는 全般的으로 같은 傾向을 보이고 있으나, 絶對値에 있어서는 理論的에 比하여 實測値가 2倍 以上 크게 나타났다. 이 差異는 低溫에 이룰수록 크게 나타났는데 그것은 모델 設定時에 無視하였던 2次的인 影響 因子가 實際로 크게 作用한 것이 原因인 것으로 생각된다.

Abstract

A model analysis of pattern shift in the epitaxial growth of silicon on (111) substrates was performed. The growth rate anisotropy was considered as the most important affecting factor of pattern shift, and for the model establishment the off angle of the substrate and the process temperature were taken as the variables.

We derived a theoretical equation of pattern shift by assuming the growth rate anisotropy as the trigonometric sine function of the off angle of the substrate and defining the growth rate anisotropy factor related to the process temperature. The pattern shift ratio calculated by this model had the same tendency with the experimental ones, which, however, were about twice greater than those.

It was supposed that this discrepancy was due to the second order affecting factor such as faceting and step broadening which had been exluded in model establishment.

*正會員, 韓國電子技術研究所

(The Korean Institute of Electronics Technology)

接受日字: 1984年 2月 1日

(※ 本 研究는 과학기술처 '82년도 國策 과제 SN 8216으로 이루어졌음.)

I. 序 論

바이폴라 集積 素子の 製造에서 埋込層(buried layer)의 擴散 時에 形成된 表面 段差(depression step)는 그 以後의 工程인 單結晶層 成長(epitaxial layer

growth)時, 表面에 再顯되어 埋込層의 位置를 알 수 있다. 그러나, 實際로는 基板(substrate)의 方向性, 즉, (111)方向으로 부터의 偏向 角度(off angle)와 工程 條件에 따라서 單結晶層 成長後 表面에 再顯된 埋込層 段差의 位置가 實際에서 水平으로 移動되어 나타 나며, 이러한 現象을 패턴 移動(pattern shift)이라 한다. 全體 패턴의 모양이 變形되는 패턴 變形(pattern distortion), 심한 경우 패턴의 모양이 없어지는 패턴 消滅(pattern washout), 그리고 段差의 幅이 넓어지거나 角度가 變化하는 現象(faceting) 등이 모두 이 패턴 移動과 關聯이 있는 것으로서 現在까지의 報告에 의하면 패턴 移動은 單結晶層 成長 時에 工程 溫度가 낮을수록, 成長 速度가 클수록, 使用된 실리콘 가스의 Cl⁻氣가 많을수록, 그리고 (111)方向으로 부터의 偏向 角度가 작은 基板을 使用할수록 크게 나타나는 것으로 알려져 있다.^{1)~4)}

最近에는 이와 같은 現象이 실리콘 表面의 結晶學의 方向性에 따른 單結晶層 成長 速度의 差異, 즉 成長 速度 異方性(growth rate anisotropy)에 의하여 일어나며, 이러한 成長 速度 異方性和 關聯이 있는 因子가 패턴 移動에 큰 影響을 미치는 것으로 報告되고 있다.⁵⁾

S.P.Weeks⁶⁾는 이러한 背景下에 패턴의 變形 및 移動 現象을 간단한 模型을 設定하여 考察하였다. 그는 埋込層의 擴散時에 形成된 段差에서 段差의 境界를 이루는 面(以下 段差面이라 함)과 그 以外의 部分(以下 基板面이라 함)의 表面이 各各 다른 結晶學的 方向性을 가지게 되므로 그에 따른 成長 速度 差異에 의하여 段差 移動이 일어난다고 하였으며, 段差面和 基板面사이의 角度와, 各 面에 대한 成長 速度의 相對的인 比로써 한쪽 段差面에 대한 移動만을 分析하였다. 그런데 패턴 移動은 서로 反對 方向인 양쪽 段差에 대한 水平 移動 距離의 平均으로서 定義되므로 實際的인 分析은 各 段差의 移動 距離를 동시에 考慮해 주어야 한다.

本 論文은 패턴 移動의 根本 原因을 成長 速度의 異方性으로 假定하고, 양쪽 段差의 移動 距離를 동시에 考慮하여 實際的인 패턴 移動을 考察하였다. 成長 速度 異方性을 基板의 偏向 角度에 대한 正弦 函數(sine curve)로 假定하여 새로운 模型을 設定하였으며, 工程 條件과 成長 速度 異方性의 關係를 나타내기 위하여 成長 速度 異方性 係數를 定義하였다. 또한 實驗으로부터 얻어진 實測値와 模型에 의한 計算値를 比較 分析하였다.

II. 패턴 移動의 模型

패턴 移動 現象은 많은 變數에 의하여 影響을 받는다.

다. 먼저 工程 溫度, 庄力, 그리고 使用된 실리콘 가스의 種類와 流量 等の 工程 條件과, 基板의 方向性, 段差의 높이 및 段差面의 角度 等の 基板 條件이 있으며 이외에도 2次的인 影響 因子로서 單結晶層 成長中에 段差面의 角度가 變化하거나 새로운 段差面이 생기는 現象 등이 있다.⁷⁾ 그러나 이러한 變數들은 同時에 複合的으로 作用하므로, 本 研究의 模型에서는 工程 條件中에서 工程 溫度만을, 基板 條件中에서는 基板의 方向性만을 變數로 하고 다른 因子들은 모두 一定하게 고정시켰다.

따라서, 패턴 移動 現象에 대한 模型을 세우기 위하여 첫째로, 單結晶層 成長 前後에 埋込層 段差面의 角度가 變化하지 않으며 둘째로, 패턴 移動은 基板面과 段差面의 方向性 差異에 의한 成長 速度 差異때문에 일어난다고 假定하였다.

그림 1은 패턴 移動의 模型을 說明하기 위한 것으로서 埋込層의 境界를 이루는 段差面 ①, ②가 單結晶層 成長 以後, 表面에 ①', ②'로 再顯되는 모습을 보인다.

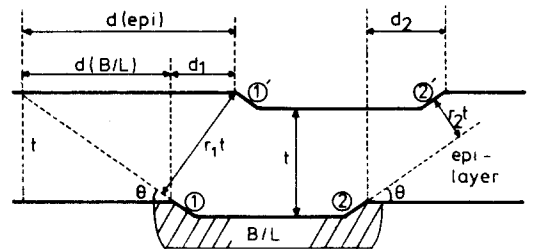


그림 1. 패턴 移動 模型의 圖式圖
Fig. 1. Schematic diagram of pattern shift model.

基板과 段差面間의 角度 θ는 埋込層 擴散 工程時 決定되는 것으로서 양쪽 段差面에 대하여 一定하지만, 各 段差面의 方向性은 基板面의 偏向 角度에 대하여 各各 +θ, -θ 만큼의 다른 方向性을 가지게 되므로 結果的으로 서로 다른 成長 速度를 나타내게 된다. 基板面에서의 成長 速度를 R_s라 하고 各 段差面 ①, ②에서의 成長 速度를 R₁, R₂라 하면, 一定한 工程 條件에서 基板面에 대한 成長 두께가 t일 때 各 段差面에서 成長된 單結晶層의 두께는 各各 r₁t와 r₂t로써 表示할 수 있다. 이 때 r₁, r₂는 各 段差面 ①, ②의 基板面에 대한 成長 速度의 比로써 다음과 같다.

$$r_1 = R_1/R_s, \quad r_2 = R_2/R_s \quad (1)$$

그러므로 段差面 ①에 대한 水平 移動 距離 d₁을 구하면, 그림 1로부터 段差面의 延長線이 單結晶層 表面과 만나는 점을 基準으로 하여 다음과 같다.

$$d_1 = d(\text{epi}) - d(\text{B/L}) = r_1 t \operatorname{cosec} \theta - t \cot \theta \quad (2-a)$$

그리고 段差面 ②에 대한 d_2 는 式 (2-a)에 r_1, θ 대신에 $r_2, -\theta$ 를 代入하여 얻어지므로,

$$d_2 = t \cot \theta - r_2 t \operatorname{cosec} \theta \quad (2-b)$$

가 된다. 따라서 패턴 移動은 양쪽 段差面の 移動 距離에 대한 平均으로 定義되며, 一般의으로는 單結晶層의 單位 두께 당 패턴 移動인 패턴 移動率으로써 表示하므로 式 (1), (2)로부터 패턴 移動率, $P \cdot S$ 를 구하면,

$$P \cdot S = \frac{(d_1 + d_2)}{2t} = \frac{r_1 - r_2}{2} \operatorname{cosec} \theta \quad (3)$$

이 된다.

結局, 式 (3)으로 부터 양쪽 段差面の 基板面에 대한 成長 速度의 比 r_1, r_2 와 段差 角度 θ 로써 패턴 移動率의 값을 計算할 수 있다. 여기서, $r_1 - r_2$ 는 成長 速度 異方性에 의한 差異로써 基板의 偏向 角度와 段差 角度, 그리고 工程 條件에 대한 函數이다.

그림 2(a)는 van den Brekel¹⁾의 커스프 다이어그램(cusp diagram)의 一部를 나타낸 것이다.

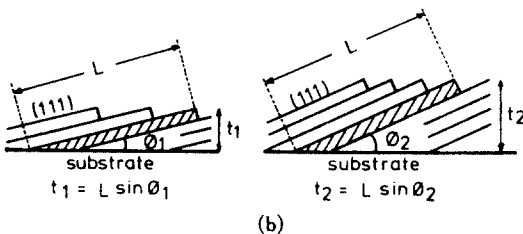
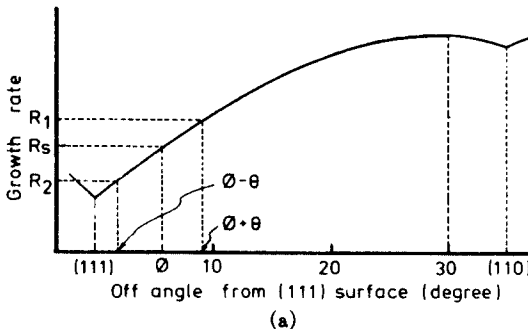


그림 2. (a) (111) 面의 偏向 角度에 대한 成長 速度 異方性을 나타내는 커스프 다이어그램
(b) 單結晶層 成長의 圖式圖

Fig. 2. (a) Cusp diagram of growth rate vs. off angle in (111) substrates.
(b) Schematic diagram of epitaxial growth phenomena.

이 그림에서 보면 基板面의 偏向 角度가 ϕ 이면 各 段差面の 偏向 角度는 各各 $\phi + \theta, \phi - \theta$ 가 되며, 이때의 成長 速度는 基板面과 各 段差面에서 R_s, R_1 과 R_2 로 나타남을 알 수 있다.

本 論文에서는 이 커스프 다이어그램을 (111) 面과 (110) 面 사이의 偏向 角度에 대한 函數로 假定하였다. 그림 2 (b)는 (111) 面으로부터 各各 ϕ_1, ϕ_2 의 偏向 角度를 가지는 基板에서 一定한 工程 條件으로 單結晶層의 成長이 이루어질 때, (111) 面과 平行한 方向으로 같은 길이 L 만큼의 成長이 되는 것을 나타낸 것이다. 이 때에 實際로 成長된 두께 t_1, t_2 는 各各 偏向 角度 ϕ 의 正弦 函數로 表示된다.

따라서, 그림 2 (a)로 부터 各 成長 速度 R_s, R_1 및 R_2 를 正弦 函數로 나타내면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} R_s &= R(0) + [R(30) - R(0)] \sin 3 \phi \\ R_1 &= R(0) + [R(30) - R(0)] \sin 3 (\phi + \theta) \\ R_2 &= R(0) + [R(30) - R(0)] \sin 3 (\phi - \theta) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

여기서, $R(0)$ 는 偏向되지 않은 (111) 面에서의 成長 速度를 뜻하며, $R(30)$ 은 正弦 曲線으로 假定한 커스프 다이어그램에서 約 30° 附近에 最大值가 나타나는 것으로 부터 定한 값이다. 따라서, 이 다이어그램은 120° 의 週期和 $R(30) - R(0)$ 의 振幅을 가지는 正弦 曲線의 一部로 생각할 수 있다.

式 (1), (3)과 (4)로 부터 패턴 移動率을 整理하면,

$$P \cdot S = \frac{[R(30) - R(0)] \cdot [\sin 3 (\phi + \theta) - \sin 3 (\phi - \theta)]}{2 \sin \theta [R(0) + \{R(30) - R(0)\} \sin 3 \phi]} = \frac{[R(30) - R(0)] \cdot \cos 3 \phi \cdot \sin 3 \theta}{\sin \theta [R(0) + \{R(30) - R(0)\} \sin 3 \phi]} \quad (5-a)$$

이때 단, 이 때에는 $\phi \geq \theta$ 이어야 한다. $\phi < \theta$ 인 경우에는 式 (5-a)의 分子에서 $\phi - \theta$ 가 $\theta - \phi$ 로 바뀌어 式 (5-b)로 된다.

$$P \cdot S = \frac{[R(30) - R(0)] \sin 3 \phi \cdot \cos 3 \theta}{\sin \theta [R(0) + \{R(30) - R(0)\} \sin 3 \phi]} \quad (5-b)$$

式 (5-a), (5-b)의 分母, 分子를 各各 $R(30) - R(0)$ 로 나누어 주면,

$$P \cdot S = \frac{\cos 3 \phi \cdot \sin 3 \theta}{(1/K + \sin 3 \phi) \sin \theta} \quad (6-a)$$

$$P \cdot S = \frac{\sin 3 \phi \cdot \cos 3 \theta}{(1/K + \sin 3 \phi) \sin \theta} \quad (6-b)$$

로 쓸 수 있다. 이 때에 K 는 成長 速度 異方性 係數로 定義하여 다음과 같다.

$$K = \frac{R(30) - R(0)}{R(0)} \quad (7)$$

이 값은 偏向 角度에 關係없이 工程 條件에 대한 函數로써 커스프 다이어그램의 커스프 깊이를 決定짓는다.

結局, 式 (6-a), (6-b)는 패턴 移動率이 工程 條

件에 대한 變數 K와 基板의 偏向 角度 ϕ 및 段差 角度 θ 의 基板 條件에 대한 函數임을 보이고 있다.

III. 實驗 方法

本 實驗에서 使用한 基板은 直徑 76mm의 P形 웨이퍼(wafer)로써, 比抵抗 값이 10~20 Ω .cm 이었고 基板의 方向性은 (111)面에 대하여 (110)方向으로 各各 0°, 4° 및 10° 씩 偏向된 것이며 各 偏向 角度의 誤差는 $\pm 1^\circ$ 이었다.

埋込層의 不純物로는 A_s 를 使用하였고, 擴散된 埋込層의 R_s (sheet resistance)는 15 Ω /□, 그리고 X_j (junction depth)는 4.0 μ m로 하였다. 擴散 方法으로는 A_s -회전 도포법을 使用하였으며, 드라이브 인(drive-in)擴散 時에 O_2 와 N_2 를 各 5% 그리고 95%로한 分團氣로써 1,230 $^\circ$ C의 溫度에서 2時間 동안에 約 1, 1,200A° 程度의 酸化膜이 形成되며, 이에 따라 埋込層의 段差가 만들어진다.

單結晶層은 輻射 加熱 方式의 AMC-7800RPX 圓筒型 反應爐(cylindrical type reactor)를 使用하여 大氣 庄 工程으로 成長시켰으며, 이 時의 실리콘 氣으로는 SiH_2Cl_2 를 使用하였다. 單結晶層을 成長시키기 前에 基板의 表面에 存在하는 不純物들을 除去하기 爲하여 HCl에칭을 實施하는데 本 實驗에서는 Cl^- 氣에 依하여 假差面의 角度가 變化하는 可能性을 排除하기 爲하여 이 工程은 行하지 않았다. 單結晶層 成長의 工程 變數로는 溫度만을 택하였고, 실리콘 氣의 流量 및 種類는 一定하게 하였다. 本 實驗에서 택한 溫度 범위는 單結晶의 成長이 可能한 영역이며 실리콘 氣의 流量은 0.77 SLM으로 하여, 運搬氣인 H_2 에 대하여 0.33 v/o에 이르게끔 하였다.

아이솔레이션은 BN 웨이퍼를 使用하여 1130 $^\circ$ C에서 行하였다.

單結晶層의 成長 速度는 成長 두께를 成長 時間으로 나누어 구하였으며, 이 때 두께의 測定은 그루우브(groove)測定法으로 하였다. 패턴 移動의 測定은 埋込層과 아이솔레이션 마스크를 別途로 製作하여 n $^+$ /p $^+$ 間의 電氣의 降伏(breakdown)으로 인한 降伏 電壓의 變化로써 行하였다.

즉, 마스크상에서 埋込層과 아이솔레이션 패턴이 各 各 2 μ m 間隔으로 0~12 μ m까지 誤整列(misalignment)되게끔 하여, 正確한 整列이 이루어진 處에서만 正常的인 降伏 電壓이 나타나도록 하였으며 이 時의 誤整列 程度를 패턴 移動 값으로 定하였다. I-V 커브 트레이서(curve tracer)로써 各 埋込層 패턴間의 npn 트랜지스터 特性 曲線으로 부터 逆 方向 降伏 電壓을 구하였고, 이와 같이 구한 降伏 電壓의 變化는

한 웨이퍼에서 다섯 군데 以上을 測定하여 平均하였다. 표 1은 이와 같이 구한 降伏 電壓의 값이 各 패턴의 誤整列 程度에 따라 變하는 것을 나타낸 것으로서 約 80V의 降伏 電壓이 일어난 處의 位置를 패턴 移動 값으로 하였다.

표 1. 埋込層과 아이솔레이션 패턴間의 誤整列 程度에 따른 降伏 電壓의 變化

Table 1. Variation of breakdown voltage with the misalignment between buried layer and isolation pattern.

Off-angle	Process temp. ($^\circ$ C)	Misalignment vs. Breakdown Voltage						Pattern shift (μ m)	Thickness (μ m)	P-S- p/th.	
		(μ m)	2	4	6	8	10				12
4 $^\circ$	1000	25(V)	25	25	25	25	25	25	—	5.0	—
	1050	25	25	25	45	78	75	42	8.8	5.2	1.7
	1100	25	42	75	80	60	35	25	5.4	5.3	1.0
	1150	60	80	75	40	25	25	25	2.7	5.4	0.5
10 $^\circ$	1000	25	25	25	25	25	25	30	—	5.6	—
	1050	25	40	72	80	65	35	25	5.5	5.4	1.0
	1100	65	80	75	40	25	25	25	2.7	5.4	0.5
	1150	73	80	60	40	25	25	25	1.8	5.4	0.3

IV. 結果 및 考察

그림 3은 一定한 工程 溫度에서 基板의 偏向 角度에 따른 單結晶層 成長 速度의 變化를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 偏向 角度가 增加할수록 成長 速度는 增加하며, 이러한 傾向은 工程 溫度가 높을수록 減少한다. 즉, 成長 速度 異方性은 高溫에서 減少한다.

이러한 現象은 單結晶層의 成長 메카니즘과 關聯되어 說明된다. 실리콘層 表面에 存在하는 停滯層(stag-

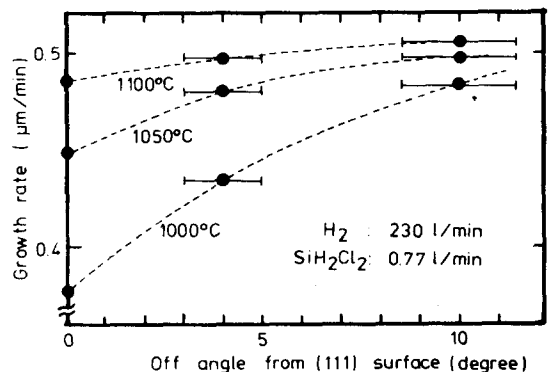


그림 3. 여러 工程 溫度에 대한 偏向 角度와 成長 速度 變化의 關係

Fig. 3. Growth rate variation with substrate orientation at various process temperatures.

nant layer)을 통하여 氣相 擴散(gas phase diffusion)된 실리콘 가스는 表面에 到達한 後, 化學 反應을 하여 실리콘 原子를 生成한다. 生成된 실리콘 原子는 (111)面과 平行한 單原子層을 形成하며, 이 單原子層의 積層으로 單結晶層이 成長하게 되는데,¹⁸⁾ 이 때의 積層 速度는 單原子層의 核 生成 速度에 依存한다. 그림 2 (b)에서 보는 바와 같이 偏向 角度가 增加하면 실리콘層 表面에 階段式의 微細 段差數가 增加하고,¹⁹⁾ 이곳이 核 生成 자리로 作用하므로 全體 成長 速度가 增加하게 된다. 따라서 그림 3에 나타난 바와 같이 偏向 角度가 增加함에 따라 成長 速度가 增加한다. 또한, 工程 溫度가 높을수록 單結晶層 成長 速度의 表面 反應 및 積層 速度 依存性이 減少하므로 結果적으로 成長 速度 異方性이 減少한다.

그림 4는 패턴 移動率의 變化를 基板의 偏向 角度와 工程 溫度에 대하여 나타낸 것으로, 偏向되지 않은 (111) 基板에서는 패턴 消滅이 일어나 測定이 不可能하였다.

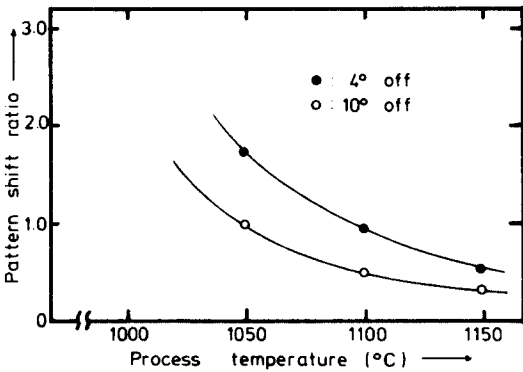


그림 4. 工程 溫度에 대한 패턴 移動率의 變化
Fig. 4. Variation of pattern shift ratio with process temperature.

그림에서 보면 工程 溫度가 높을수록 패턴 移動率이 減少하며, 偏向 角度가 큰 基板에서 낮은 값을 보이고 있다. 이것은 그림 3에서 보인 成長 速度 異方性의 變化 傾向과 크게 聯關이 있는 것으로 보인다. 즉, 같은 偏向 角度를 가진 基板에서 高溫에 이를수록 패턴 移動이 減少하는 것은, 化學 反應에 의하여 生成된 실리콘 原子의 表面 移動이 활발해 짐에 따라, 結晶學적으로 안정된 위치에서 정착될 確率이 높아지므로, 결과적으로 結晶面 方向에 관계없이 成長 速度의 等方性에 가까워지기 때문인 것으로 보인다. SiH₄를 사용하거나 RP(reduced pressure) 工程을 행할 때에 거의 패턴 移

動이 없는 이유로서 反應 物質인 SiCl₂ 등이 表面에 존재하여 실리콘 原子의 移動을 방해하는 일이 적은 것을 들 수 있는데,¹⁸⁾ 이러한 考察도 결국 成長 速度의 等方性으로서 說明되어 진다. 그리고 같은 溫度일 경우, 偏向 角度가 큰 基板에서 적은 패턴 移動이 나타나는 이유로서는, 실리콘 原子가 表面을 移動하여 정착할 수 있는 자리가 많아짐에 따라 移動 距離가 짧아지므로 상대적으로 成長 速度의 等方性이 증가하는 것을 생각할 수 있다.

그림 5는 이와 같은 成長 速度 異方性을 考察하기 위하여 式 (7)로 부터 定義한 成長 速度 異方性 係數 K를 그림 3에서 직접 求하여 工程 溫度와의 關係로써 나타낸 것이다.

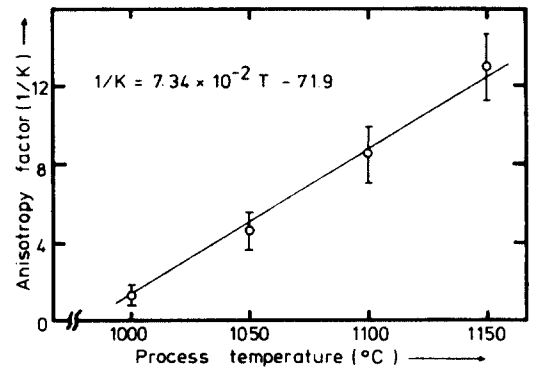


그림 5. 工程 溫度와 成長 速度 異方性 係數의 關係
Fig. 5. Growth rate anisotropy factor vs. process temperature.

그림으로 부터 알 수 있듯이, 本 實驗 範圍에서 1/K는 工程 溫度 T와 거의 線形的으로 比例하고 있다. 즉, 工程 溫度의 增加에 따라 成長 速度 異方性이 反比例적으로 減少하고 있음을 알 수 있다. 이러한 關係를 最少 自乘法에 의하여 直線式으로 나타내면 다음과 같다.

$$1/K = 7.34 \times 10^{-2} T - 71.9 \quad (8)$$

이 때에 T는 섭씨 溫度이다.

그림 6은 모델에서 얻어진 理論値와 實驗에 의한 實測値를 比較한 것이다. 式 (8)로 부터 工程 溫度를 成長 速度 異方性 係數 K로 換算하여, 패턴 移動率을 異方性 係數에 대한 關係로 나타내었다.

그림에서 點線으로 表示한 것은 式 (6)에서 얻어진 理論式을 各 偏向 角度에 대하여 나타낸 것이다. 式 (6)의 段差 角度 θ는 埋込層 擴散時에 決定되는 것으로서, 一般的으로 약 6°에 이르는 것으로 알려져 있으나

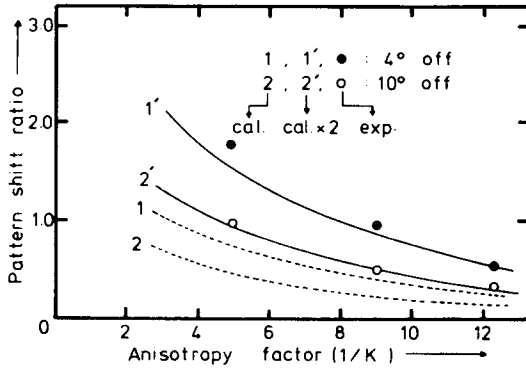


그림 6. 成長速度 異方性 係數와 패턴 移動率의 關係. 理論値와 實驗値의 比較

Fig. 6. Pattern shift ratio vs. anisotropy factor. Comparison between measured values and calculated ones.

本 實驗에서는 式 (6-a)와 (6-b)를 各各 計算한 結果, 式 (6-a)와 잘 一致하였다. 이것은 段差 角度 θ 가 偏向 角度 ϕ 보다 작다는 것을 意味한다. 따라서, 작은 값의 θ 인 境遇에 $\sin 3\theta/\sin \theta$ 는 거의 3.0에서 크게 벗어나지 않으므로 그림 6에 適用한 理論式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P \cdot S \approx \frac{3 \cos 3\phi}{1/K + \sin 3\phi} \quad (9)$$

그림에서 보면 式 (9)에 의한 理論値와 實驗値의 全般的인 傾向은 一致하고 있으나 絕對値에 있어서는 큰 差異를 보이고 있다. 이러한 差異가 나는 것은 假定에서 無視되었던 段差 角度 變化 (facetting) 등의 2次的 影響 因子가 實際로는 크게 作用하고 있는 것으로 생각된다.

그림 7은 아이솔레이션 工程 以後의 웨이퍼 表面 狀態를 單結晶層 成長의 工程 溫度와 偏向 角度에 따라 나타낸 寫眞이다. 사진의 큰 사각형은 아이솔레이션 패턴이며, 内部의 작은 사각형은 埋込層 패턴이 單結晶層 表面에 再顯된 것이다. 사진으로 부터 오른쪽 方向이 패턴 移動 方向이며, 이 方向의 段差面 모양이 變化하는 것을 알 수 있다. 그러나 本 實驗에서는 測定 方法의 어려움 때문에 이러한 現象에 대한 定量的인 解析이 不可能하였다. 또한 現在에 이르기까지 이에 대한 原因과 方法은 밝혀지지 않은 상태이다.

高溫에서 보다는 低溫에서 이 差異가 크게 나타나는 데, 이것은 溫度가 낮아짐에 따라 실리콘 原子의 積層 메카니즘에 變數로 作用하는 影響 因子가 異方性を 惹起시키는 確率が 增加하기 때문인 것으로 보인다. 그리고 패턴의 모양이 不分明하게 되어 아이솔레이션 마

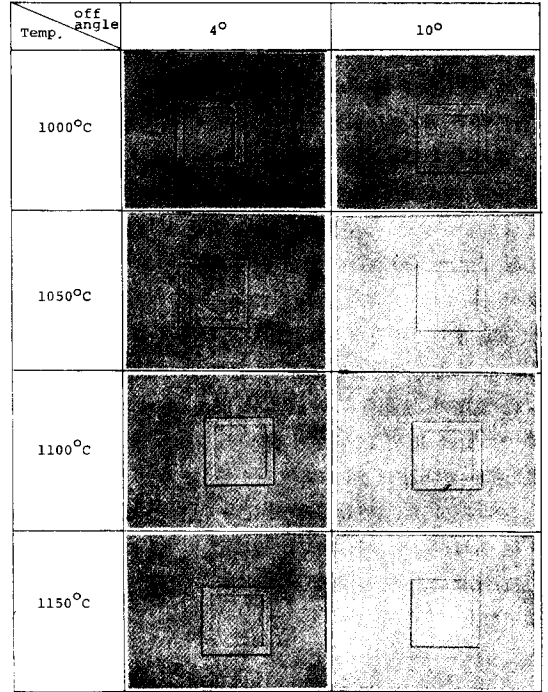


그림 7. 單結晶層 成長 條件에 따른 웨이퍼 表面 狀態의 變化. 큰 사각형 - 아이솔레이션 패턴, 작은 사각형 - 埋込層 패턴의 再顯된 모습

Fig. 7. Surface status vs. epitaxial conditions. Large square-isolation pattern, small square-buried layer pattern revived.

스크 整列時에 어려움이 增加하는 것도 하나의 理由로 考慮할 수 있다. 따라서, 式 (9)에서 얻어진 理論式에 工程 條件과 方向성이 아닌 變數로써 패턴 移動에 影響을 미치는 因子들의 影響 係數를 α 로 하여 補正하면,

$$P \cdot S = \frac{3 \cos 3\phi}{1/K + \sin 3\phi} \cdot \alpha \quad (10)$$

로 쓸 수 있으며, 그림 6의 實線은 α 를 2.0으로 하여 補正된 理論値를 나타낸 것이다.

以上으로 부터 本 모델에서 無視한 2次的 影響 因子는 實際의 패턴 移動率에 적지 않은 影響을 미치고 있음을 알 수 있다. 그러나 現在에 이르기까지 이러한 段差 角度 變化 現象 등에 대해서는 理論的인 究明이 이루어져 있지 못한 實情이다.

V. 結 論

패턴 移動 現象의 모델을 設定하기 위하여 偏向 角度에 따른 成長 速度 異方性を 正弦 函數로 假定하고, 工程 溫度에 의한 影響은 成長 速度 異方性 係數를 定

義하여 考察하였다.

그 結果, 偏向 角度에 따른 單結晶層 成長 速度 異方性은 工程 溫度가 增加함에 따라 減少하였고, 그에 따라 패턴 移動率도 減少하였으며 이와 같은 異方性的 變化 傾向은 (111)면에서의 실리콘 單結晶層 成長 메카니즘 變化로 說明된다. 또한 成長 速度 異方性에 대하여 異方性 係數를 定義하고, 이것을 工程 溫度에 따른 變化로써 살펴 본 結果, 本 實驗 範圍에서 서로 逆比例 關係에 있음을 알 수 있었다.

그리고, 設定된 모델에 의하여 理論적으로 구한 값과 實驗에 의하여 얻어진 實測値는 絶對値에 있어서는 差異가 나지만 全般的인 傾向은 一致하고 있었다. 이것은 패턴 移動 現象의 主 影響 因子가 成長 速度 異方性임을 立證하고 있지만, 實際로는 假定에서 無視되었던 2次的인 影響 因子가 크게 作用하고 있음을 나타내고 있다.

따라서, 패턴 移動의 定量的인 分析을 위해서 本 論文에서는 補正 係數를 使用했으나, 보다 正確한 究明을 위해서는 段差 角度 變化 및 실리콘 에칭등에 대한 研究가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- [1] P.H. Lee et al, "Epitaxial pattern shift comparison in vertical, horizontal, and cylindrical reactor geometries," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 124, pp. 1824-1826, 1977.
- [2] L.J.M. Bollen, "Epitaxial silicon, state of art," *Acta Electronica.*, vol. 21, no.3, pp. 185-199, 1978.
- [3] C.M. Drum and C.A. Clark, "Geometrical stability of shallow surface depressions during growth of (111) and (100)," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 115, no.6, pp. 664-669, 1968.
- [4] C.M. Drum and C.A. Clark, "Anisotropy of macrostep motion and pattern edge displacements on silicon near (100)," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 117, no. 11, pp. 1401-1405, 1970.
- [5] C.H.J. van den Brekel, "Growth rate anisotropy and morphology of autoepitaxial silicon films from SiCl₄," *J. Cry. Growth*, vol. 23, pp. 259-266, 1974.
- [6] S.P. Weeks, "Pattern shift and pattern distortion during CVD epitaxy on (111) and (100) silicon," *Solid State Tech.*, vol. 24, pp. 111, Nov. 1981.
- [7] T. Enomoto et al, "Pattern washout effect in epitaxial process of integrated circuit fabrication," *Jap. J. App. Phys.*, vol. 8, no.11, pp. 1301-1306, 1969.
- [8] A.G. Revesz and R.J. Evans, "The topography and growth mechanisms of silicon overgrowth," *Trans. Met. Soc. of AIME.*, vol. 230, pp. 581-585, Apr. 1964.
- [9] S.K. Tung, "The effects of substrate orientation on epitaxial growth," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 112, no.4, pp. 436-438, Apr. 1965.