



# アウトライン

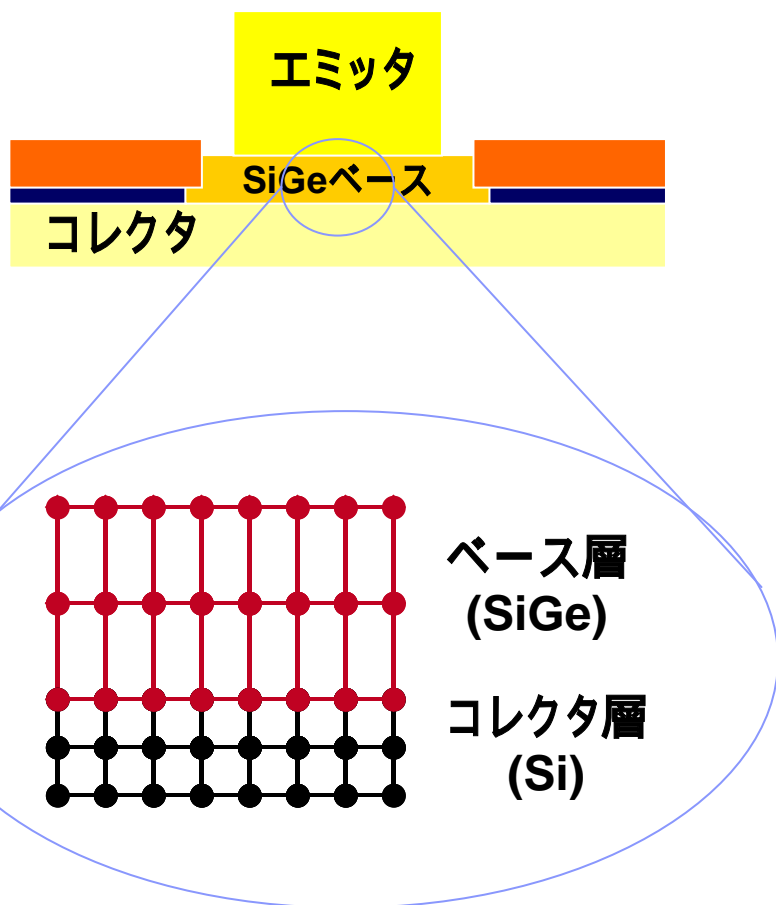
- 1) 背景
- 2) 実験
- 3) 実験結果
- 4) まとめ

# 1) 背景 *SiGe*薄膜を使ったトランジスタ

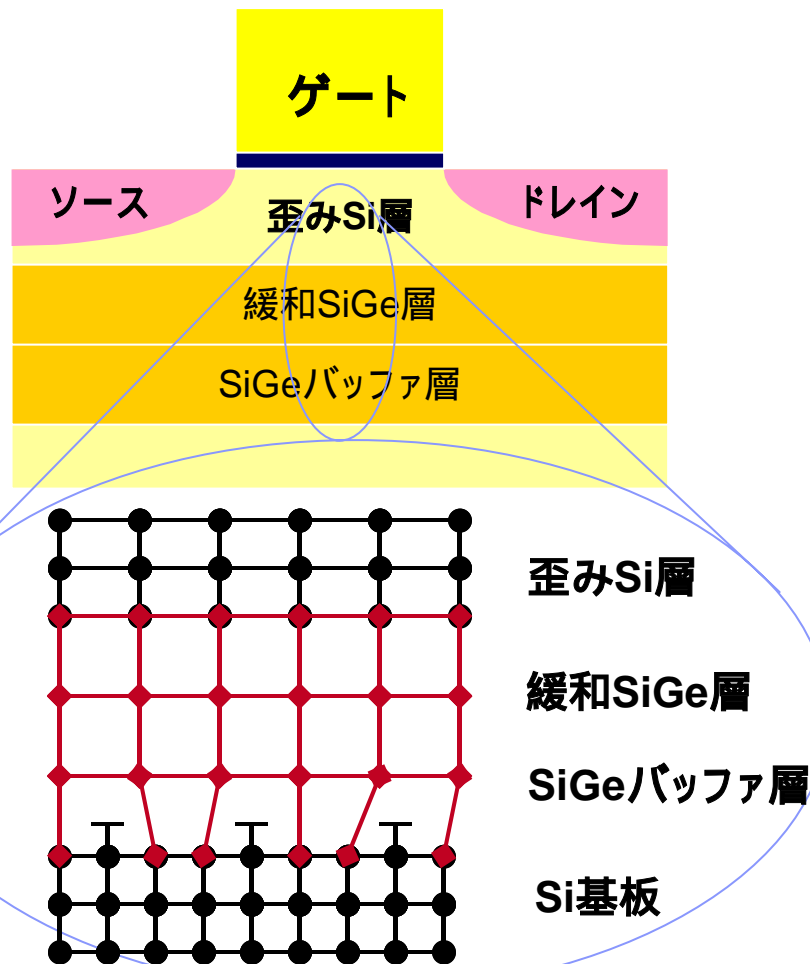


・*SiGe*と歪み*Si*の高い電子移動度を活用

高周波用バイポーラトランジスタ



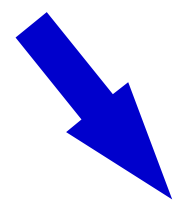
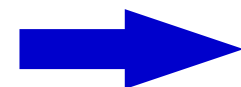
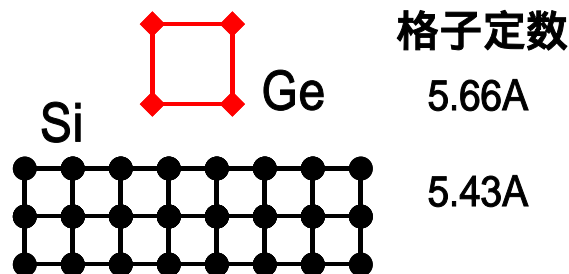
高速MOSトランジスタ



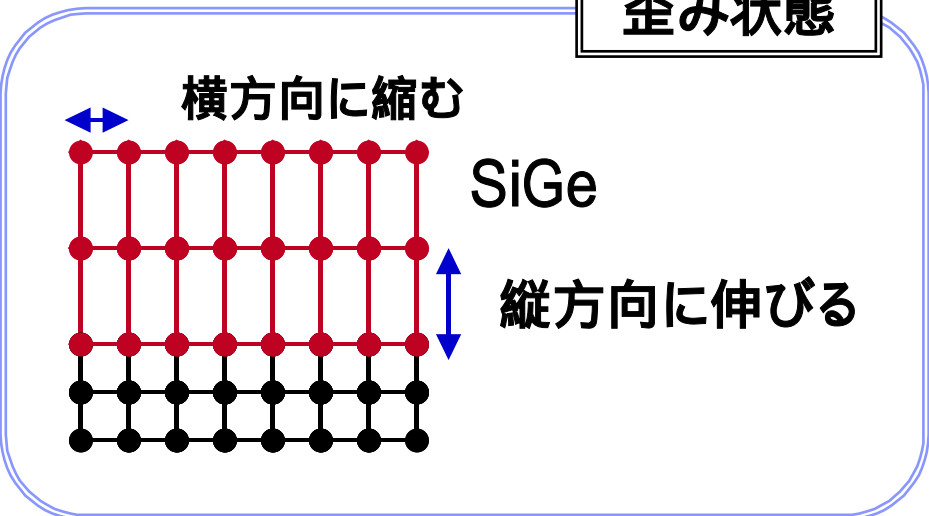
# 1) 背景 エピタキシャル結晶構造

## ➤ エピタキシャル成長

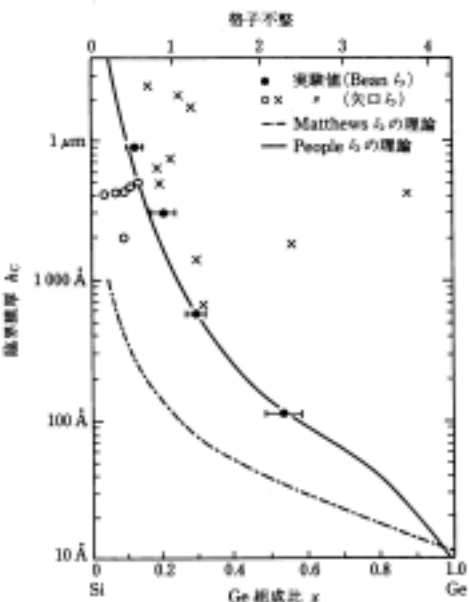
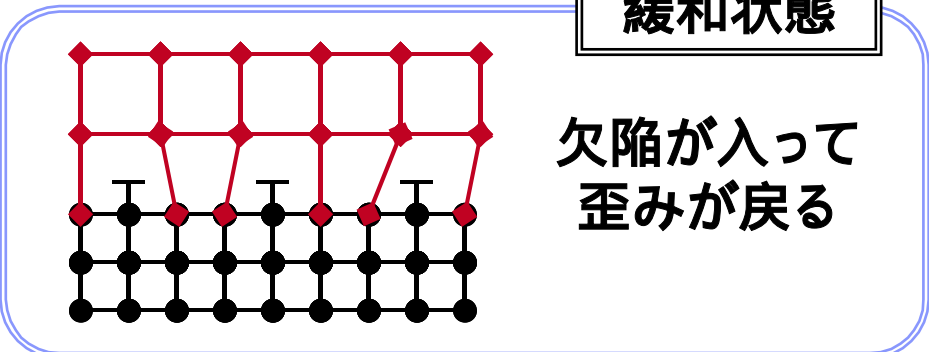
- ? 下地の基板結晶の原子配列に従って規則正しく配置していく過程のこと
- ? SiGeの成長形態は層状成長(Frank-van der Merwe型)



**歪み状態**



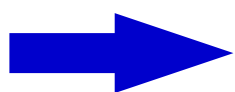
**緩和状態**



古川 静二郎他 シリコン系ヘテロデバイス より

SiGeの格子歪みの違いを利用したデバイス

SiGeベース-HBT	SiGeの歪み状態
歪みSi-channel MOSFET	SiGeの緩和状態



SiGe薄膜結晶構造の制御

**目的 エピSiGe薄膜結晶構造の高精度評価**

1. 水平・垂直方向の格子定数の測定
2. 歪み・緩和状態を正確に把握

## 2) 実験

## 評価試料

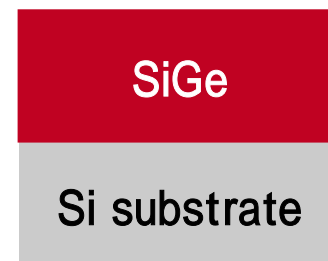
## ➤ 試料成膜方法

➤ 減圧CVD 法によるエピタキシャル成長

圧力	10.6 kPa
成長温度	550 ~ 650
成膜レート (Ge30%)	72 nm/min
Ge濃度	30 %
膜厚	5 ~ 200 nm

## ➤ 試料構造

➤ SiGe on Si sub.



## ➤ SiGe薄膜の評価手法

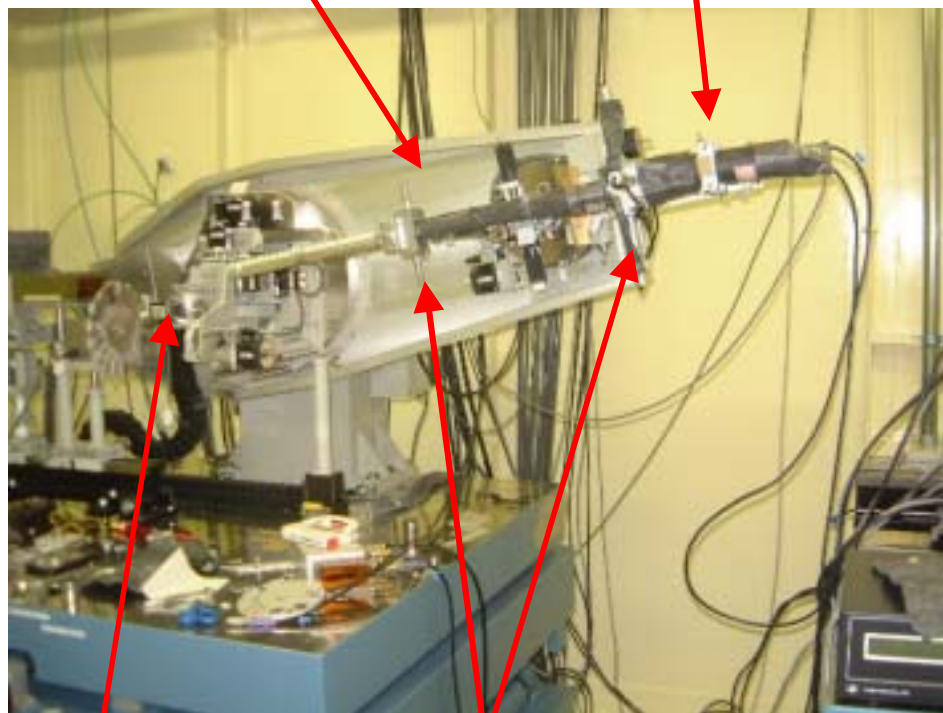
膜厚	X線反射率
Ge濃度	蛍光X線、RBS
歪み緩和	X線面内回折

## 2) 実験

## BL16XUの特徴

SANYO

2 アーム 検出器



試料

ダブルスリット

X線

- ・エネルギー：可変 (8.04 keV)
- ・強度： $1 \times 10^{12}$  photons/s
- ・ビームサイズ： $< 0.2$  mm
- ・精密測定に適した平行ビーム

測定方法

- ・ -2 法

## 2) 実験

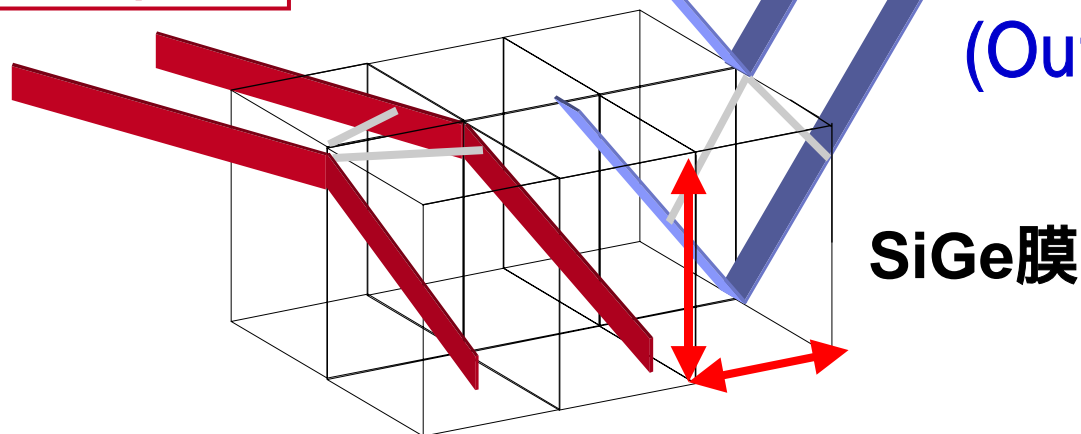
## 測定方法の特徴

SANYO

X線面内回折  
(In-plane)

$\theta - 2\theta$ 法

X線回折  
(Out-of-plane)



水平方向の格子定数

$a$

垂直方向の平均の格子定数

$a$

と 両方の測定 → 結晶の歪み状態を正確に把握



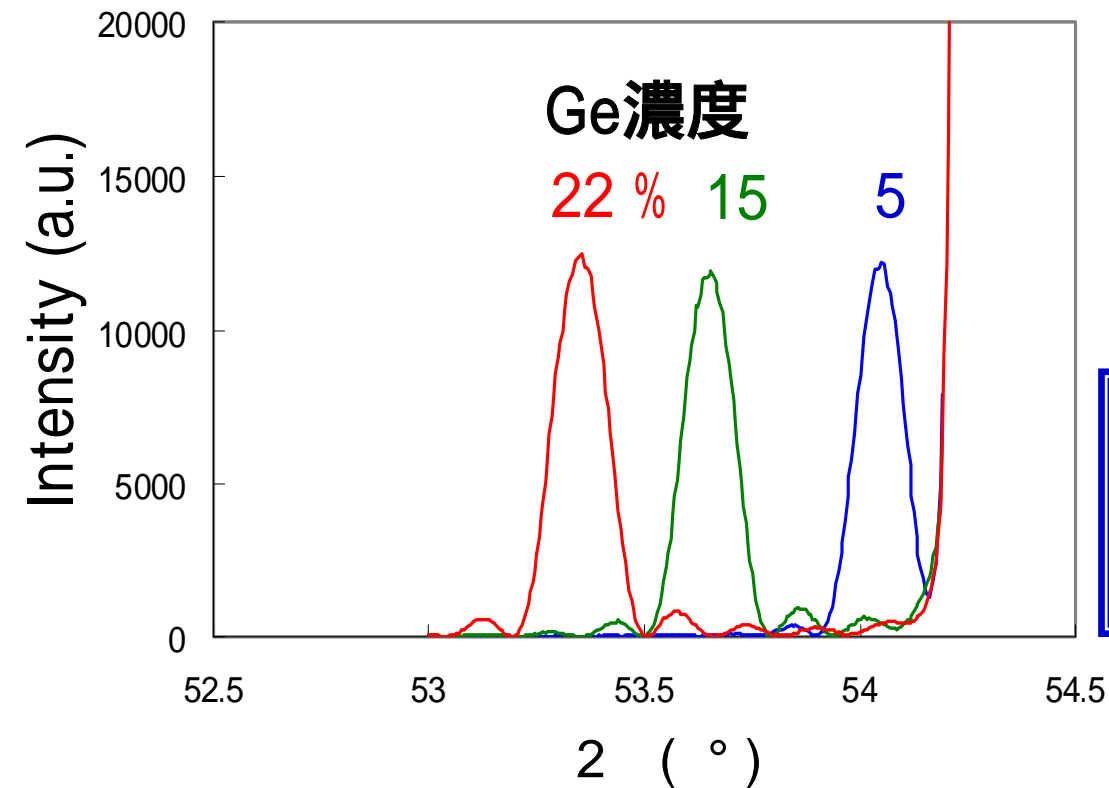
### 3) 実験結果

- ・ 格子定数 $a$  (Ge濃度依存性)
- ・ 格子定数 $a$  (Ge濃度依存性)
- ・ 格子定数の評価 (Ge濃度依存性)
- ・ 格子定数 $a$  (深さ依存性)
- ・ 格子定数 $a$  (アニール温度の効果)



# 3) 結果 格子定数 $a$ ( $Ge$ 濃度依存性)

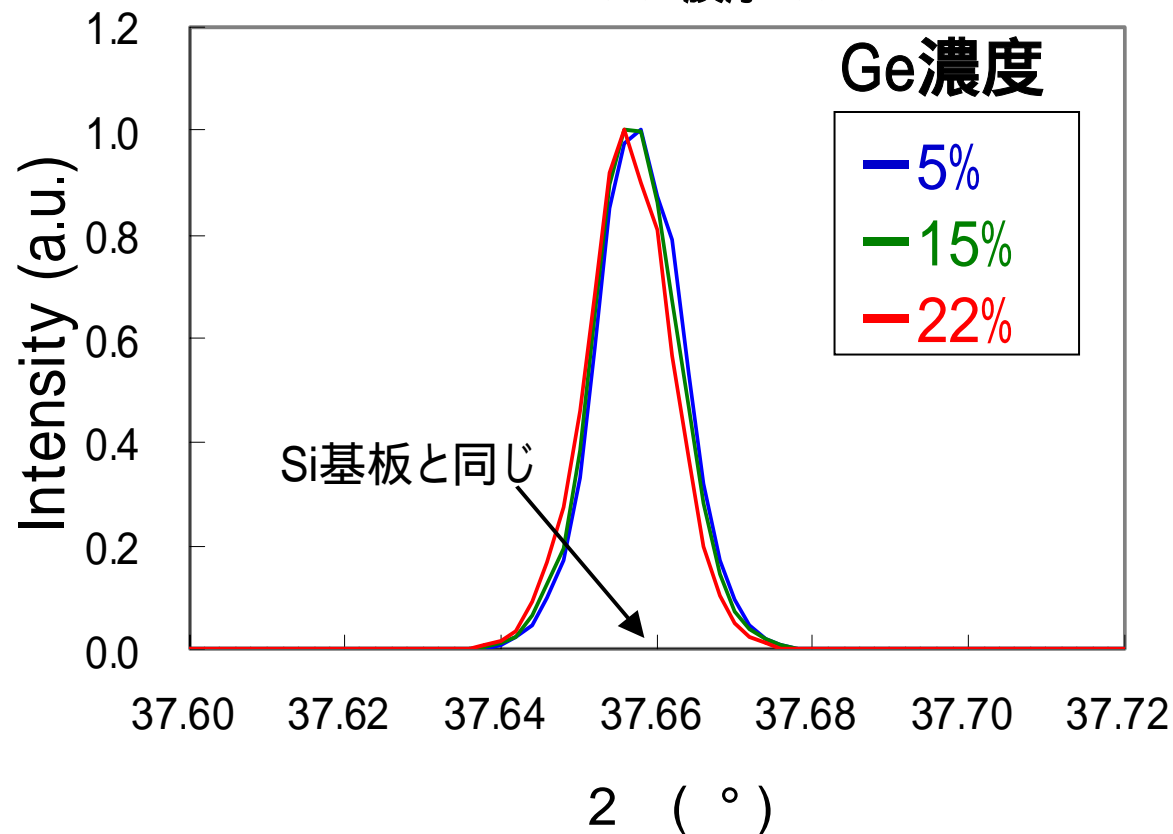
- ・測定: - 2 法 (Out of plain)
- ・X線エネルギー: 10.0 keV
- ・SiGe膜厚: 50 nm



Ge濃度が高くなる程  
ピーク位置が低角に移る  
垂直格子定数 $a$ が増大

### 3) 結果 格子定数 $a$ ( $Ge$ 濃度依存性)

- ・測定: - 2 法 (In-plane)
- ・X線エネルギー: 10.0 keV
- ・SiGe膜厚: 50 nm

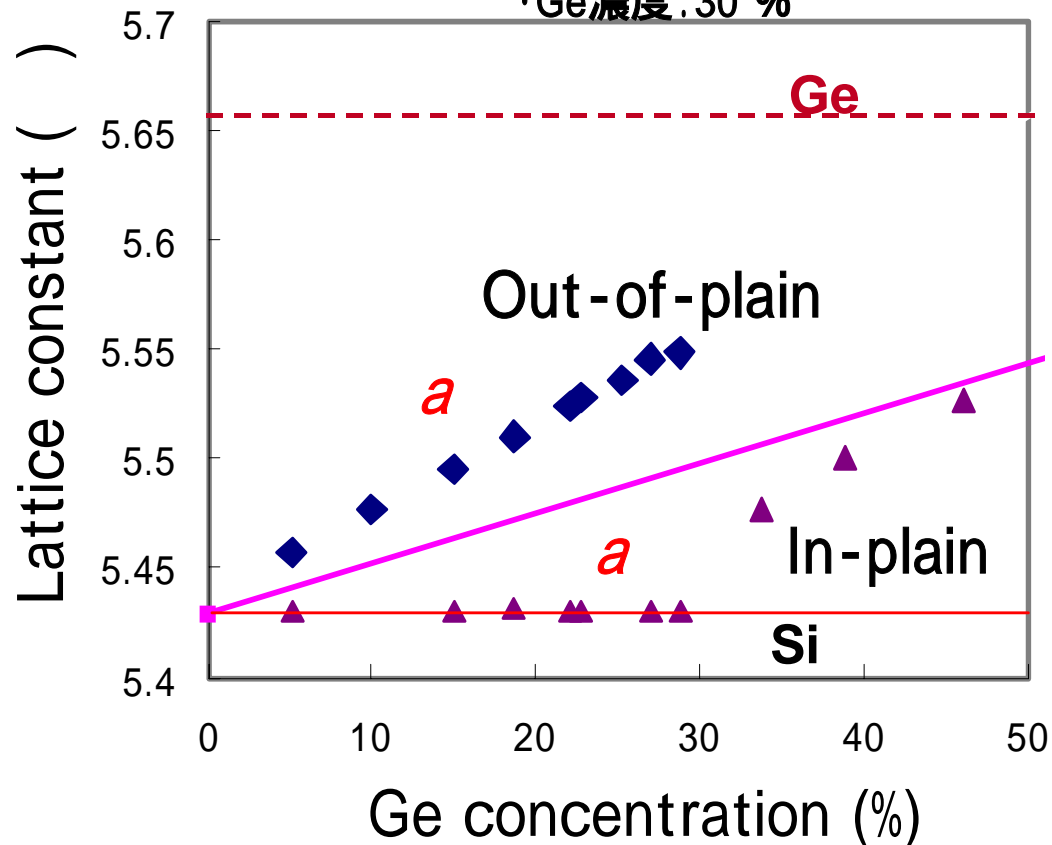


水平方向格子定数 $a$   
Ge濃度に依らず  
圧縮歪の状態にある

## 3) 結果

## 格子定数の評価

- ・測定: - 2 法 (In-plane)
- ・X線エネルギー: 8.04 keV
- ・SiGe膜厚: 50 nm
- ・Ge濃度: 30 %



・垂直方向の格子定数  $a$

緩和状態に対して、伸びた状態で歪んでいる。

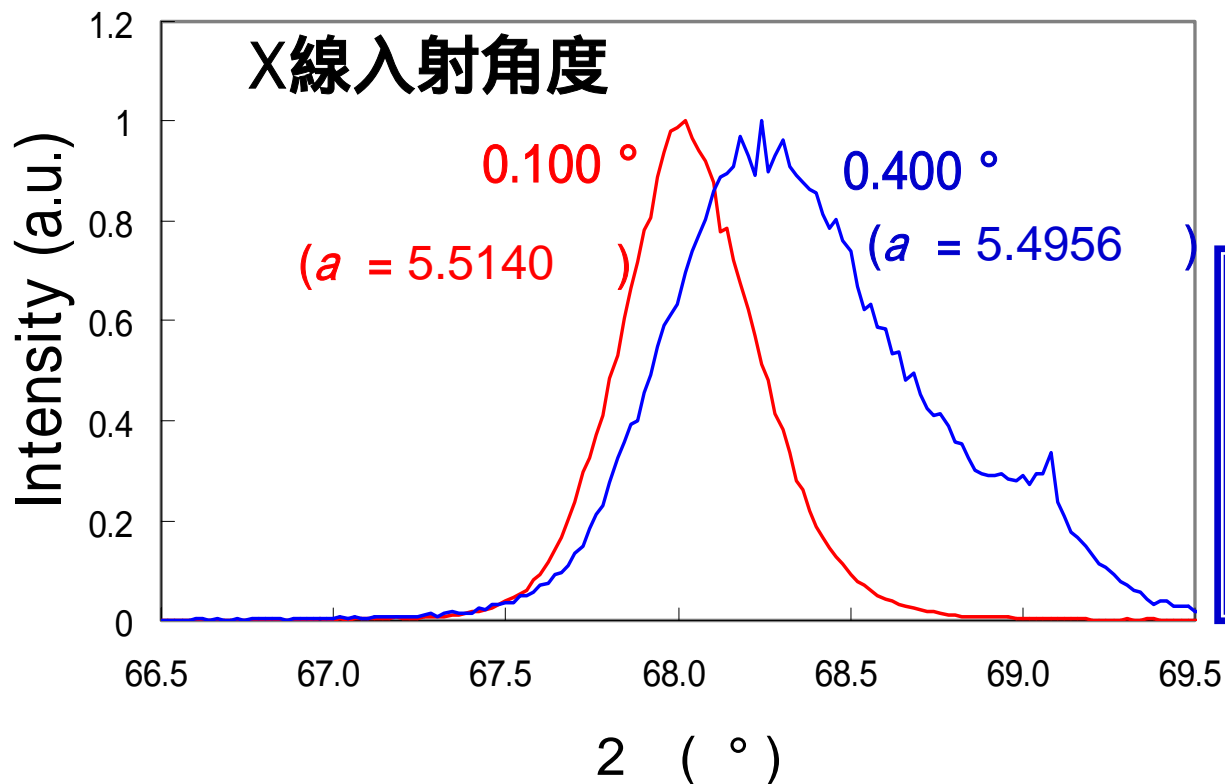
・水平方向の格子定数  $a$

Ge濃度30%を境に完全歪み状態から緩和状態に移行する。

## 3) 結果

格子定数 $a$  (深さ依存)

- ・測定: - 2 法 (In-plane)
- ・X線エネルギー: 8.04 keV
- ・SiGe膜厚: 50 nm
- ・Ge濃度: 30 %

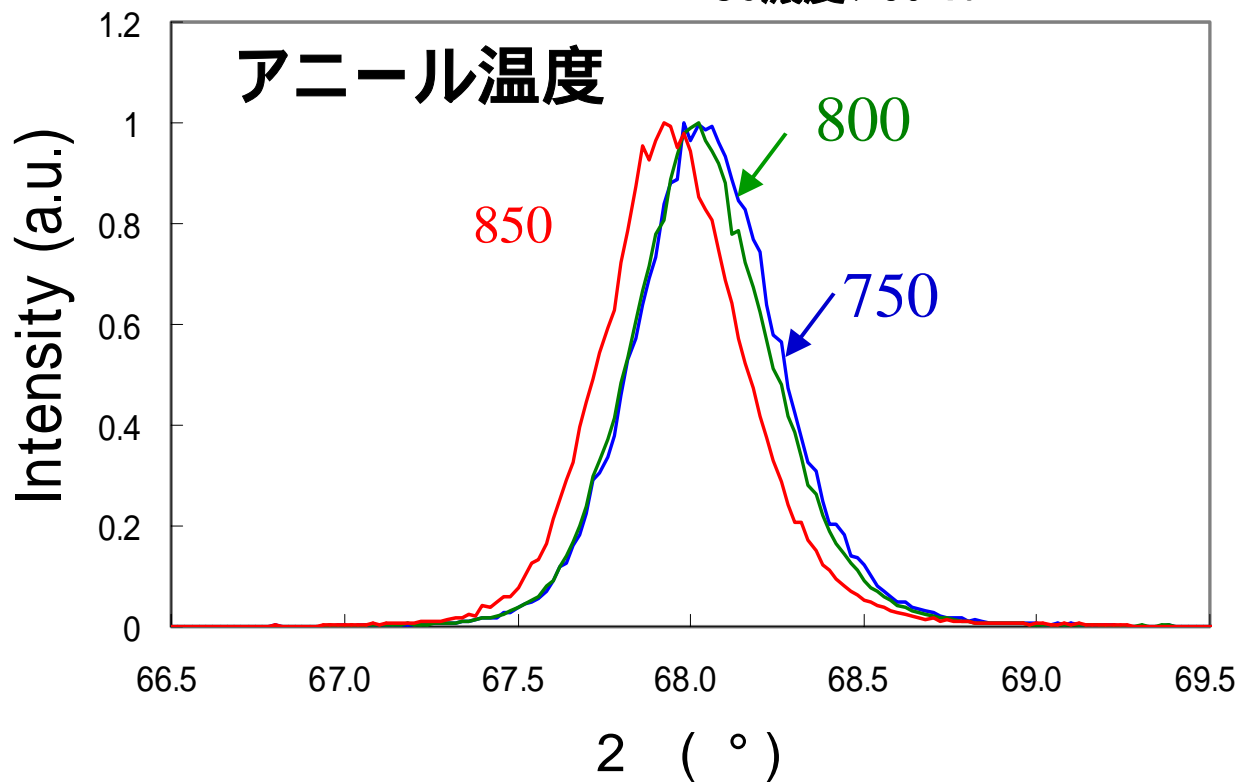


横方向の格子定数 $a$

表面近傍で最も緩和している。深いほど小さくなる。

# 3) 結果 格子定数 $a$ (アニール温度依存) SANYO

- ・測定: - 2 法 (In-plane)
- ・X線エネルギー: 8.04 keV
- ・SiGe膜厚: 100 nm
- ・Ge濃度: 30 %



高温アニール効果  
水平格子定数 $a$  の  
歪みを増大

## 4) まとめ

水平・垂直方向の格子定数の測定に成功。

### 垂直方向の格子定数 $a$

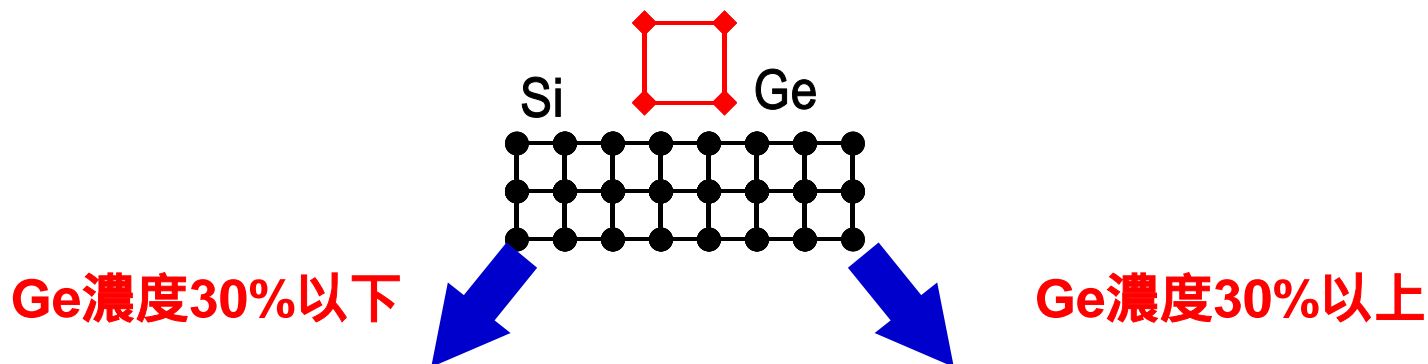
- ・伸長歪みの状態にある。
- ・Ge濃度依存性を示し、単調増加する。

### 水平方向の格子定数 $a$

- ・圧縮歪みの状態にある。
- ・表面近傍で最も広い。(Si 基板のそれと比較して 1.6% 広い)
- ・Ge濃度依存性を示し
  - \* 30 %までは完全歪み状態にあり、
  - \* 30 %を越えると徐々に緩和状態に移行する。
- ・アニール(750-850 )は歪みを増大させる。

## 4) まとめ

- SiGe結晶格子の歪み・緩和モデル (SiGe膜厚 50 nmの場合)

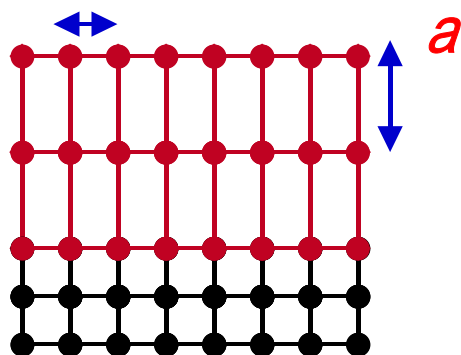


歪み状態 (圧縮)

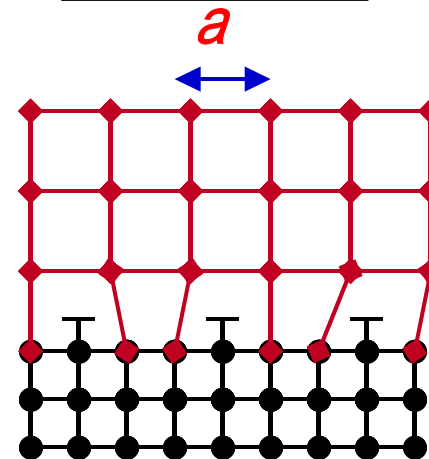
歪み状態 (伸長)

(Ge濃度に比例)

SiGe



緩和状態



- ・  $a$  PeopleとBeanの文献値と一致する結果であった。