

# 多結晶シリコンの高品質化

## —高性能ディスプレイの実現を目指して—

河東田隆\*    西田 謙\*    牧田 寛\*\*\*    平木昭夫\*\*    加納剛太\*\*\*

\* 高知工科大学工学部, \*\* 総合研究所, \*\*\* 大学院起業家コース  
〒 782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口 185

E-mail : katoda.takashi@kochi-tech.ac.jp, nishida.ken@kochi-tech.ac.jp  
makita.hiroshi@kochi-tech.ac.jp, hiraki.akio@kochi-tech.ac.jp,  
kano.gota@kochi-tech.ac.jp

**要約** : シリコン基板上的のアモルファスシリコンを熱によって結晶化させ、多結晶シリコンを作製する方法において、弾性応力が結晶粒径に及ぼす効果を明らかにした。弾性応力が加わると、粒径の大きな結晶は成長しないことが明らかになった。

**Abstract** : Effects of stress on solid-phase crystallization of amorphous silicon were studied. It was clear that crystalline particles with larger diameters were not formed when elastic stress was induced during crystallization.

### 1. はじめに

高度情報化社会がますます進む中で、ヒューマンインターフェイスの1つであるディスプレイも一層の高性能化が求められている。液晶ディスプレイは特に情報用のディスプレイとしてその性能の向上が求められている。液晶ディスプレイの性能向上の1つの課題は、駆動回路の向上である。現在、液晶ディスプレイの駆動回路は、アモルファスシリコン(a-Si)を用いて作られている。a-Siが用いられる理由は、安価で均一性に優れていることがある。しかし、a-Siにはキャリア移動度が小さいことや長期安定性に欠けるという欠点がある。そこで、a-Siよりキャ

リア移動度が1~2桁大きく、経年変化も著しく小さい多結晶シリコン(poly-Si)を、駆動回路に使用するための研究が広く行われるようになった。poly-Siには上述のような利点がある反面、結晶粒径やa-Siの結晶化速度の制御が容易ではないという問題がある。これらの問題を解決するためには、a-Siが結晶化する機構を明らかにした上で、制御方法を開発する必要がある。

a-Siが結晶化する過程で、それ自身が持つ応力あるいは外部から加わる応力が重要な働きを持つことが、これまでの我々の研究で明らかになった。特に、外部から加わる弾性歪は結晶化を遅らすという結果は、塑性歪と弾性歪を区別

せずに行われてきた従来の研究報告とは大きく異なるものである。

a-Si を結晶化させ poly-Si を形成する技術において残された重要な課題の1つは、応力が結晶粒径に及ぼす効果である。一般的には結晶粒径のより大きな poly-Si を製作する為の技術開発が進められているが、応力が結晶粒径に及ぼす効果は、明らかにされていない。

## 2. 本研究の目的

本研究は、a-Si を結晶化させ poly-Si を作製する方法において、応力、特に弾性応力が結晶粒径に及ぼす効果を明らかにすることを目的とする。

## 3. 実験

### 3.1 実験方法

試料は Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (50~1000nm)/a-Si (1.5μm)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (50nm)/Si(100) を 500℃、6 h + 750℃、15 min. の熱処理し、X線回折像を測定した。X線回折ピークの半値幅は Scherrer の式によれば結晶粒径が小さくなるほど大きくなる性質がある。<sup>1)</sup>

#### 3.1.1 X線回折像の測定条件

##### (1) X線管球の印加電圧と電流

X線スペクトルは連続した分布を持つ連続X線と線状のスペクトルである特性X線からなる。 $\theta$ - $2\theta$ 法では特性X線を用いて測定され、連続X線はない方が好ましい。連続X線はX線管電圧が大きいほど大きいという特徴を持っている。また、特性X線の強度は実験的に次式で与えられる。

$$I_{char} \propto i(V-V_0)^n \quad (1)$$

$I_{char}$ : 特性X線の強度       $V$ : X線管電圧

$V_0$ : 励起電圧       $i$ : X線管電流

$n$ : 管電圧に関係する定数

ただし、 $V$  が  $V_0$  の 2~3 倍なら  $n \sim 0$ 、 $V > 3V_0$  ならば  $n \sim 1$  となる。特性X線の励起電圧の関係を表1に示す。本研究で用いたX線管球のターゲット Cu の励起電圧  $V_0$  は 8.86 kV であるから、X線管電圧が 30 kV 程度で  $n \sim 1$  となつて、それ以上では特性X線がそれほど増加しなくなる。一方、連続X線の強度  $I_{conti}$  は、 $Z$  を原子番号とすると

$$I_{conti} \propto iV^2Z \quad (2)$$

のように表され、X線管電圧の2乗で大きくなる。したがって、特性X線と連続X線  $I_{char}/I_{conti}$  の比を大きくするためには、X線管電圧は 30kV に固定してX線管電流を増加させていく方がよい。そこで、本研究ではX線管電圧 30 kV、X線管電流 30 mA とした。

表1 特性X線の波長と励起電圧

ターゲット		波長 [Å]			励起電圧 [kV]
物質	原子番号	$K_{\alpha_1}$	$K_{\alpha_2}$	$K_{\beta}$	
Cr	24	2.294	2.290	2.085	5.98
Fe	26	1.940	1.936	1.757	7.10
Co	27	1.793	1.789	1.621	7.71
Cu	29	1.544	1.541	1.392	8.86
Mo	42	0.7135	0.7093	0.6323	20.0
Ag	47	0.5638	0.5594	0.4970	25.5
W	74	0.2118	0.2090	0.1844	69.3

##### (2) ディフラクトメータ

ディフラクトメータは RIGAKU の RINT2100 を使用した。発散スリット (DS) を 0.5°、散乱スリット (SS) を 0.5°、受光スリット (RS) を 0.15 mm とした。また、湾曲結晶モノクロメータを使用し  $K_{\beta}$  線を除去した。ただし、モノクロ受光スリット ( $RS_M$ ) を 0.45 mm とした。この条件で得られる粉末 Si の (111) 面からの X線回折ピークを図1に示す。ただし、実線で示した曲線はピークの形を Gauss 型としてフィッティングした結果であり、積分幅を示してある。積分幅というのは、ピークの面積をピークの強度で

割った値であり、粒径を議論する場合には理論式が簡潔になるため半値幅よりも積分幅で議論する方が一般的である。そこで、本実験でも積分幅を使って議論を進める。このピークの半値幅が結晶粒径の影響の無いディフラクトメータと測定条件のみの影響を受けた積分幅ということになる。

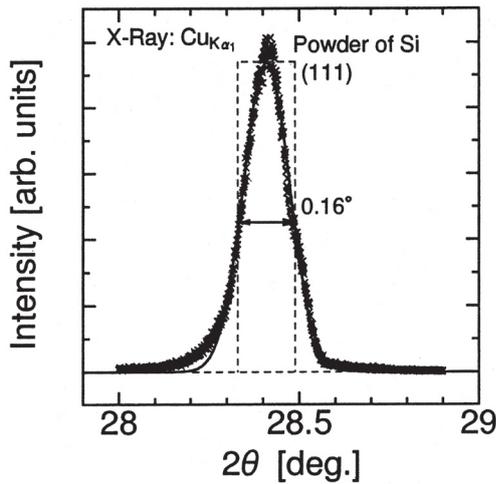


図1 粉末 Si の (111) 面からの回折

### (3) 真の積分幅の見積もり

上述のように実際の X 線回折ピークの積分幅の広がりには結晶粒径以外にも測定条件や  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$  の波長分離などに起因するもの  $b$  が含まれている。実測の積分幅  $B_0$  は一般的に  $B$  と  $b$  の単純な和とはなっていない。まず、 $K_\alpha$  と  $K_\beta$  の波長のずれ  $\delta$  より Jones による補正曲線から  $b/b_0$ ,  $B/B_0$  を求め  $K_\alpha$  と  $K_\beta$  の波長分離の補正を行い  $b/B$  を求める。 $b_0$  は図1などの粉末試料の積分幅を使う。その後、 $b/B$  の値から  $\beta/B$  を求め光学系や測定条件による広がりを補正することにより真の積分幅  $\beta$  が得られる。

### 3.2 結果と考察

図2に  $\text{Si}_3\text{N}_4$  キャップの膜厚を変えたときの X 線回折像を示す。(111)、(220)、(311) 面のピークがある。それぞれの面の回折強度の比は Si 粉末試料のそれとほぼ同じであるので、特に

配向性があるようには見えない。配向していないのは膜厚が  $1.5 \mu\text{m}$  と厚いためであると考えられる。また、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜の膜厚と poly-Si 膜の配向性との間に相関が見られない。しかし、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  キャップの膜厚の増加とともに半値幅が大きくなっている様子がわかる。図3にピークを Gauss 型でフィッティングしたときの(111)面と(220)面の積分幅の変化を示す。ただし、この積分幅は前節で説明した方法で補正された値である。明らかに  $\text{Si}_3\text{N}_4$  キャップの膜厚の増加とともに積分幅が増加している。この積分幅から Scherrer の式<sup>1) 2)</sup> を使って結晶粒径を見積もると図4ようになる。明らかに、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜の膜厚が大きくなるとともに結晶粒径が小さくなっていることがわかる。

この現象は応力下では小さい粒径の方が大きい粒径のものよりも安定であるため生じると考えられるが、その理由として次のようなことが考えられる。もし、大きな歪みが生じているところで全体が弾性定数の大きな c-Si になってしまうとそれだけ歪みエネルギーが大きくなってしまふとそれだけ歪みエネルギーが大きくなってしまふ。そこで、粒界にある弾性定数の小さな a-Si が多くの歪みを受け持つことによって歪みエネルギーを小さくしていると考えられる。

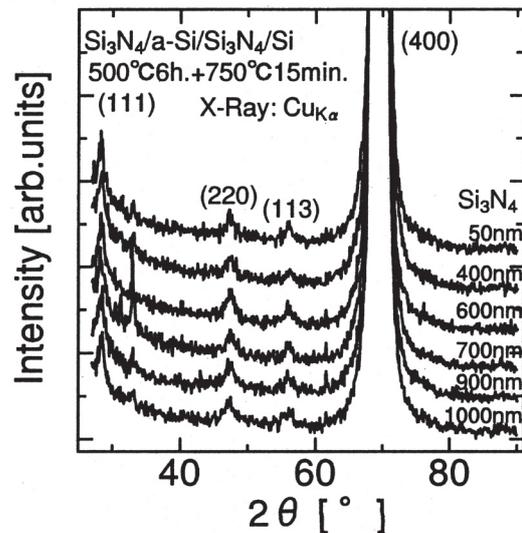


図2  $\text{Si}_3\text{N}_4$  キャップの膜厚を変えた時の X 線回折像

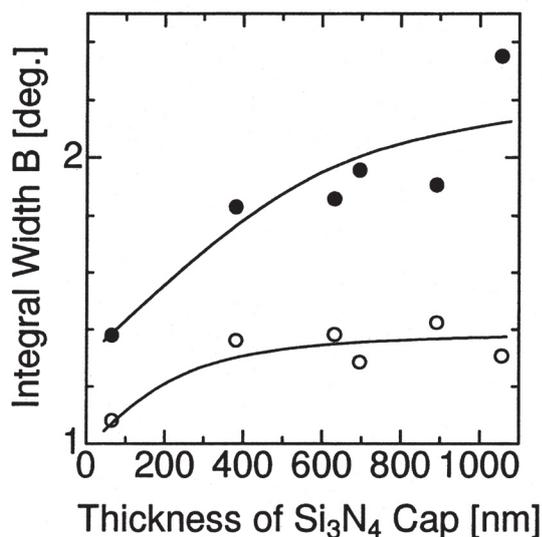


図3 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> キャップの膜厚を変えた時の (111)、(220) の X 線回折ピークの積分幅の変化

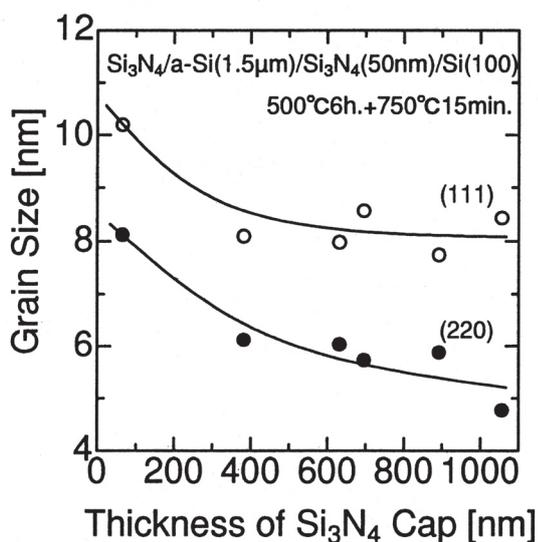


図4 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> キャップの膜厚を変えた時の結晶粒径の関係

#### 4. まとめ

応力と poly-Si 膜の結晶粒径の関係を X 線回折ピークを用いて検討した。強い応力が加わっている界面では大きな粒径はできないことがわかった。この現象は応力下では小さい粒径の方が大きい粒径のものよりも安定であり、粒界にある a-Si が応力の多くを吸収しているためと考えられる。しかし、結晶粒径を決定する結晶化

過程の最終段階での詳細はわかっておらず更に検討が必要である。

#### 文献

- 1) 仁田 勇 監修 「X 線結晶学 上」 (丸善) (1967)
- 2) 仁田 勇 監修 「X 線結晶学 下」 (丸善) (1965)