

薄膜トランジスタ高性能化を目指した固相成長多結晶シリコン薄膜に関する構造学的及び電気的基礎研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16258

氏名	竹中 敏
生年月日	
本籍	山梨県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第319号
学位授与の日付	平成11年9月30日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	薄膜トランジスタ高性能化を目指した固相成長多結晶シリコン薄膜に関する構造学的及び電気的基礎研究
論文審査委員(主査)	長谷川誠一(研究科・教授)
論文審査委員(副査)	清水 立生(工学部・教授) 畑 朋延(工学部・教授) 森本 章治(工学部・助教授) 猪熊 孝夫(工学部・助教授)

学位論文要旨

Polycrystalline Silicon (poly-Si) films were fabricated on quartz substrates by solid phase crystallization (SPC) of hydrogenated amorphous Silicon (a-Si:H) films deposited by plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD). As-deposited a-Si:H contains approximately 15 at.% of bonded hydrogen atoms as determined by FT-IR measurement. The a-Si:H films were preannealed in N₂ atmosphere at 450°C before SPC growth. The SPC growth was carried out at three different annealing temperature : 600, 650 and 700°C in N₂ atmosphere. We have found that the dehydrogenation process is strongly correlated with the SPC of the a-Si:H ; especially in the nucleus generation time, the crystallization starts from the outermost surface.

The SPC at 600°C for 8 hours generates crystalline nuclei of approximately 1 μm which serve as seeds in an amorphous matrix. The amorphous region changes to the crystalline phase with 72 hours SPC at 600°C. The SPC at 650°C generates crystalline nuclei within 1 hour of annealing, and changes amorphous regions to crystalline phase within 2 hours. In the case of the 700°C SPC, amorphous-to-crystalline phase transition occurs within 1 hour of annealing.

The TEM cross-sectional observations indicates that the crystallization starts from the outermost surface. We assume the initial stage of the crystallization as follows. When the a-Si:H is annealed, the a-Si:H starts to release hydrogen from the surface, while most of the hydrogen inside the a-Si:H still remains. Hydrogen dissociation at the surface generates nuclei and the crystallization starts from the surface. We consider that the time discrepancy of dehydrogenation at the surface and the inner thin film is essential to the motivation of crystallization from the surface.

The n-channel TFT mobility of 158 cm²/V · s obtained by using the SPC poly-Si films.

【序論】

PECVDa-Si:H薄膜を固相成長させて、大粒径の多結晶シリコン (poly-Si) 薄膜を形成した。結晶成長機構を解明するために構造学的解析を行った。その結果、結晶成長は水素の脱離に強く依存しており、結晶成長の起点となる結晶核がSi薄膜の表面に発生することが分かった。固相成長に関するこれまでの報告では、結晶核は基板とSi薄膜との界面に発生するという結果がほとんどであった。固相成長法において、出発材料であるa-Si薄膜の膜質によって結晶成長機構が異なることが、本研究により明らかにされた。

実験に用いたPECVDa-Si:H薄膜は約15%の水素を含んでいた。水素の急激な脱離をさけるために、450℃の水素抜き前処理アニールを行い、その後600℃~700℃の固相成長温度で1~72時間の結晶成長処理を行った。

【構造学的解析結果】

はじめにTEM観察結果について説明する。Fig.1にTEM 写真を示す。600℃で固相成長させた場合、8時間アニールで表面に結晶核発生が観測され、17時間アニールで結晶化が進み、約70%が結晶化している。72時間アニールで、ほぼ膜全体が結晶化している。固相成長温度650℃の場合、1時間アニールで結晶核が発生し、2時間で膜全体が結晶化している、さらに、700℃の場合は、1時間アニールで膜全体が結晶化している。

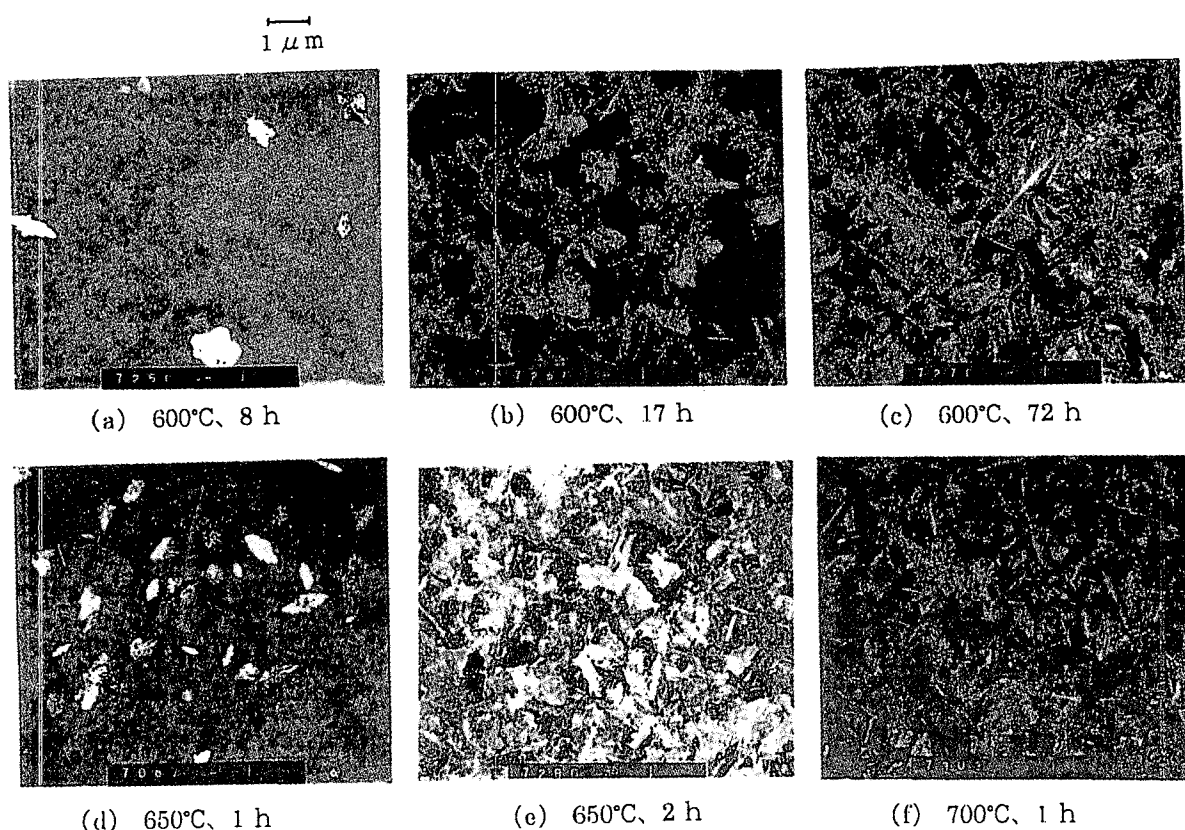


Fig.1 固相成長 poly-Si の TEM 観察

固相成長において、結晶核発生前の潜伏時間内に、どのような構造変化が起きているか調べるために、水素濃度やスピン密度の評価、あるいは結晶化率の評価を行った。

固相成長温度600°Cにおいて、スピン密度変化量と結晶化率の固相成長温度依存性をFig. 2に示す。スピン密度はESR測定から求めた、スピン密度変化量は、固相成長前のスピン密度との差で定義した。また、結晶化率はラマン散乱測定より求めた。SIMS分析より求めた含有水素量の変化をFig.3に示す。

スピン密度変化は、5時間までは増加しており、その間、水素も僅かずつ脱離している。しかし結晶化率の変化はなく、TEM観察においても全体がアモルファスのままである。アニール時間が8時間になると、スピン密度は増加から減少に転じ、結晶化率は8.9%となった、さらに残留水素は検出限界以下に減少していた。この時、結晶核が発生したことがTEM観察より確かめられた (Fig. 1 参照)。固相成長時間17時間では、スピン密度がさらに大幅に減少し、結晶化率は59%に増大している。固相成長時間72時間では、結晶化率が89%となり、スピン密度の変化量はほぼ観測されなくなった。これは結晶成長が膜全体におよんだことを示唆していると考えられる (Fig. 1 参照)。

断面TEM観察の結果。結晶核はSi表面に発生することがわかった。Fig. 4に固相成長温度650°Cで1時間と2時間の処理をしたPoly-Si 薄膜の断面TEM観察結果を示す。これはFig. 1 (d)と(e)に対応している。以上より、PECVDa-Si:H薄膜の固相成長は水素の脱離と強い相関があることが明らかになった。そして、基板表面のモルフォロジーの影響を受けずに、優れたPoly-Si 薄膜を得ることを可能にした。

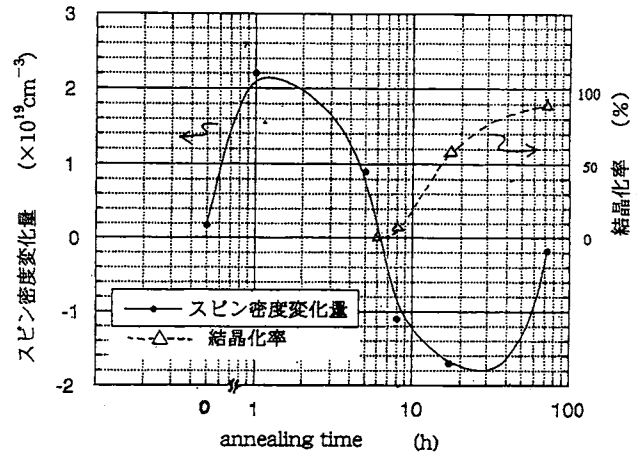


Fig.2 スピン密度変化量と結晶化率のアニール時間依存性

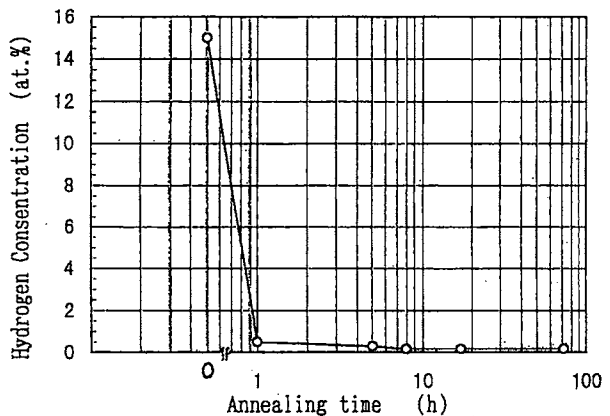


Fig.3 水素濃度Chの固相成長時間依存性 at 600°C

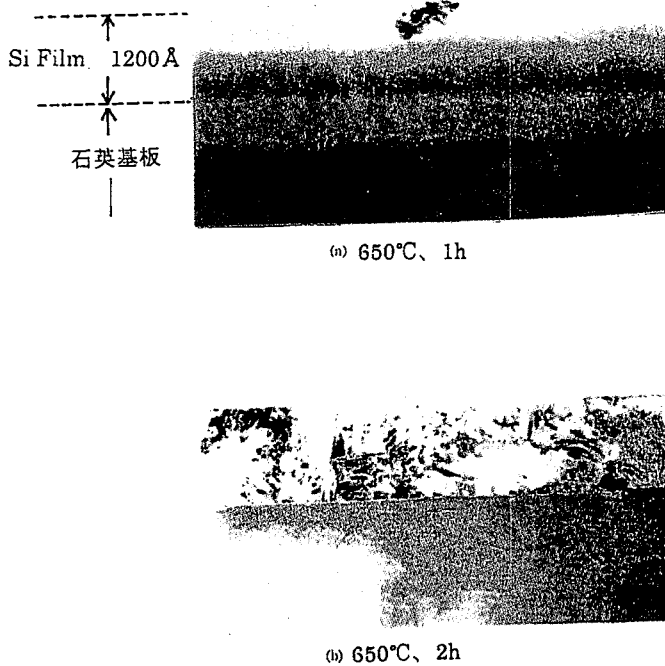


Fig.4 固相成長 Si 膜の断面 TEM 写真

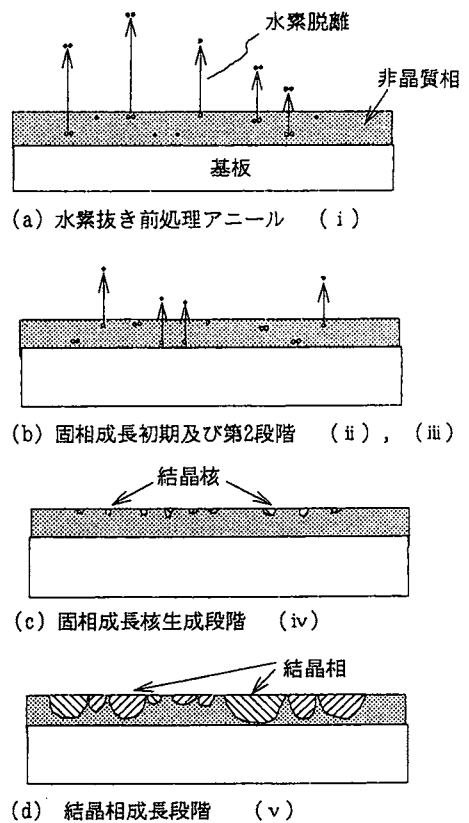


Fig.5 固相成長によるa-Si:H薄膜の構造変化機構モデル図

- Si-Hから脱離した水素
- Si-H₂から脱離した水素
- Siの未結合手 (1原子あたり1本)
- Siの未結合手 (1原子あたり2本)

以上の結果から、PECVDa-Si:H薄膜を固相成長させた場合における結晶成長機構に関して考察したモデルをFig. 5 に示す。

同図(a)に示したように、水素抜き前処理アニールで、まずSi-H₂形態の水素結合がきかれて多量の水素が脱離する。次に (b) に示すように固相成長初期及び第2段階でSi-H形態の水素結合が切れて、わずかの水素が抜ける。この間スピ密度は増加傾向にある。そして (c) に示した結晶核生成段階において結晶核が表面に発生し、スピ密度は増加から減少傾向に転ずる。結晶核は水素の脱離と強い相関があるためにSi膜表面に発生する。最後に (d) に示したように結晶核を起点とした結晶成長段階に進む。

【電氣的解析結果】

これらの固相成長Poly-Si薄膜を用いてTFTを試作し、電氣的特性を評価した。Fig. 6にNch(N-channel) TFTの電界効果易動度の固相成長アニール時間依存性を示す。Fig. 2で示した、結晶化率のアニール時間依存性と強い相関があることが明らかである。

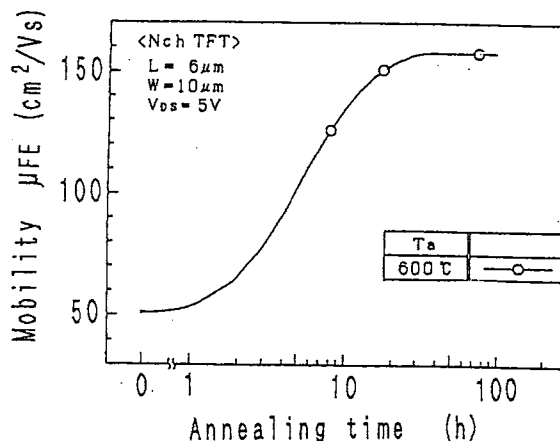


Fig. 6 Nch TFTの電界効果易動度のアニール時間依存性
固相成長温度 600°C

【まとめ】

- i) PECVDa-Si:H薄膜の固相成長は水素の脱離と強い相関があり、そのためにSi膜表面に結晶核が発生する。これは基板との界面に結晶核が発生するLPCVDa-Si薄膜の固相成長に場合と異なる大きな特徴である。
- ii) PECVDa-Si:H薄膜の固相成長は、基板表面のモルフォロジーの影響を受けなくて大粒径Poly-Si 薄膜を得るための有効な方法であることを明らかにした。さらに、大粒径化にともなってTFT特性高性能化の効果を明らかにした。

学位論文審査結果の要旨

各審査委員によって提出学位論文に関して個別に審査を行なうと共に、平成11年8月6日の口頭発表の結果を踏まえて、同日に論文審査委員会を開催して協議を行なった。その結果、以下のように判定した。

多結晶シリコン(poly-Si)の電子に対する易動度はアモルファスSi(a-Si)に比較してかなり大きいこと、およびp形、n形半導体の形成が容易となるため、液晶ディスプレイにおける薄膜トランジスタ(TFT)、三次元集積回路、太陽電池、CMOS(Complimentary MOS)トランジスタ、への応用が大きな注目を受けている。この時、ガラス基板上にpoly-Si膜を堆積するため、低温堆積が不可欠となる。本論文では、ガラス基板上にプラズマ化学気相成長法を使用してa-Si:H膜を堆積し、アニールによって結晶化(固相成長)させ、高性能poly-Si膜の低温膜成長技術の確立を目的としている。研究方法としては、(1)a-Si:H膜中の水素量を堆積条件(基板温度、印加高周波電力、膜中からの水素を抜くための前アニール処理条件)を変化させ、固相成長後のpoly-Si膜の特性変化を調べる。(2)前項の結果を基に、固相結晶化機構を解明する。(3)これらのpoly-Si膜上にTFTを形成し、poly-Si膜の特性とTFT特性の比較を行なう。

これらの結果を基に、a-Si:H膜の堆積条件、固相結晶化の最適条件を明らかにすると共に、そのメカニズムを解明した。以上の研究成果は、基礎研究面のみでなく、前記したpoly-Si膜の応用目的の達成に対する重要な指針を与え、幅広い研究分野の発展に大きく寄与するものである。従って、本論文は、博士(工学)の学位に値するものと判断する。