

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560372

研究課題名(和文)SPV法によるボトムゲート型TFTにおける多結晶Si薄膜の結晶性評価技術の開発

研究課題名(英文)Development of evaluation method of crystallinity in poly-crystallized silicon thin film for bottom gate type TFT by surface photo-voltage

研究代表者

池田 正則 (IKEDA, Masanori)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：10222902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：交流表面光電圧法による非接触・非破壊での多結晶シリコン薄膜の結晶性評価装置の開発を行った。発光ダイオードからレーザーダイオードへの励起光源の変更により、多結晶シリコン薄膜から得られる表面光電圧の高感度化を達成した。エキシマレーザーアニールにより多結晶化された膜厚約50nmのシリコン薄膜では、約1mV/nmの分解能を示した。また、測定において励起光の高パワー化によるAC SPVの飽和という問題点があることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Evaluation method of crystallinity in poly-crystallized silicon thin film was investigated by alternative surface photo-voltage (AC SPV). Sensitive AC SPV measurement was achieved by the change of light source for carrier excitation from light-emitting diode (LED) to laser diode (LD). The ratio of AC SPV to radius of grain in poly-silicon thin film crystallized by excimer laser annealing was estimated about 1 mV/nm. Furthermore, it was shown that there is a problem of the saturation in AC SPV with high power light irradiation.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電気・電子材料工学

キーワード：表面光電圧 多結晶シリコン薄膜 薄膜トランジスタ 結晶性評価

### 1. 研究開始当初の背景

近年、フラットパネルディスプレイの急激な普及と高性能化・高機能化が進んでいる。フラットパネルディスプレイでは、膜厚約50nmの半導体シリコン薄膜中に作り込まれた薄膜トランジスタにより構成された電子回路により各画素を動作させている。現在、フラットパネルディスプレイに使われているシリコン薄膜の多くはアモルファスシリコンであるが、キャリア移動度の低さから多結晶シリコン薄膜へ移行していくことが予想される。キャリア移動度は多結晶Si薄膜の結晶粒径に依存するため、大面積の多結晶シリコン薄膜が均一な結晶粒径で形成されているかを製造現場においてリアルタイムで評価する必要がある。

現在、多結晶シリコン薄膜の結晶性評価には、検出部を差動型としたマイクロ波光導電減衰法が使用されている。この手法は、試料に照射したマイクロ波の反射強度が、多結晶シリコン薄膜の結晶粒径に依存する少数キャリアの寿命に比例することを利用して、ところが、ボトムゲート型薄膜トランジスタの場合には多結晶シリコン薄膜の下層にキャリア密度の大きい金属ゲート膜が存在するため、そもそも反射マイクロ波強度が大きく、光照射によって生じる多結晶シリコン薄膜内のキャリア密度の変化をモニターすることができない。リアルタイムでボトムゲート型薄膜トランジスタ構造における多結晶シリコン薄膜の結晶性を評価できる手法は現在のところ無いため、新しい原理に基づいた評価手法が必要不可欠である。

本研究では、ボトムゲート型薄膜トランジスタ構造に対応可能な多結晶シリコン薄膜の結晶性評価法として、表面光電圧(SPV)法を提案する。しかしながら、トップゲート型に比べてボトムゲート型構造では測定される表面光電圧は小さく、高感度化、及び低ノイズ化が必要である。

### 2. 研究の目的

- (1)ボトムゲート型薄膜トランジスタに使われる多結晶シリコン薄膜の結晶性評価技術を確立する。そのために、表面光電圧測定の高感度化及び低ノイズ化を図る。
- (2)多結晶シリコン薄膜の下層における金属膜の有無による表面光電圧の違いを調べる。
- (3)交流表面光電圧特性から、多結晶シリコン薄膜内の少数キャリアの挙動を調べ、膜構造と電子状態について解明する。

### 3. 研究の方法

- (1) 多結晶シリコン薄膜結晶評価用表面光電圧測定装置

図1に多結晶シリコン薄膜結晶評価用とし

て開発した表面光電圧測定装置の模式図を示す。装置全体が、機械的ノイズ低減のため、除振台上に設置してある。本装置は試料に非接触で表面光電圧を検出できる。表面光電圧プローブは光源と検出部を一体化したものであり、スライダにより1mmの精度でX方向及びY方向へ移動が可能である。また、Z軸方向には0.5μmの精度で移動可能となっている。励起光源は、表面光電圧の高感度測定を図るため、発光ダイオード(Light Emitting Diode: LED)からレーザダイオード(Laser diode: LD)に変更した。レーザダイオードドライバへは、レーザダイオード励起信号の変調のため、ファンクションジェネレータから出力した周波数 $f=1\text{kHz}$ 、最大電圧5V、最小電圧0Vの矩形波信号を入力した。発生した表面光電圧信号は表面光電圧プローブで検出し、プリアンプで100倍に増幅後、ロックインアンプで測定、またオシロスコープによって信号波形を観察した。

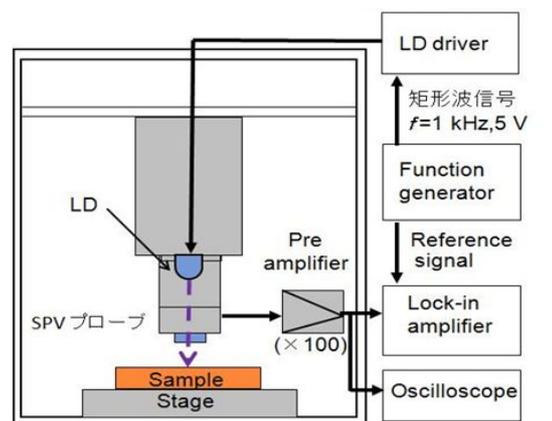


図1 多結晶シリコン薄膜結晶性評価用表面光電圧測定装置

図2は表面光電圧プローブの概略を示している。光源には波長379nmの紫外光レーザダイオード(日亜化学, NDU7216E)を使用した。レーザー光をコメリートレンズで平行光化し、スリット(1~5mm)を通すことにより光を絞り、石英ブロックを通して試料に照射した。発生した表面光電圧信号の検出は、直径10mmの円柱石英ブロック下面に形成した透明薄膜電極により行った。表面光電圧波形観察及び交流表面光電圧測定は、試料表面と透明薄膜電極間を100μmに固定して行った。

#### (2) 試料

評価に用いた試料はエキシマレーザアニールにより多結晶化した膜厚約50nmのシリコン薄膜、及び真空中で熱処理を施したアモルファスシリコン薄膜である。両者ともに基板には石英を用いている。

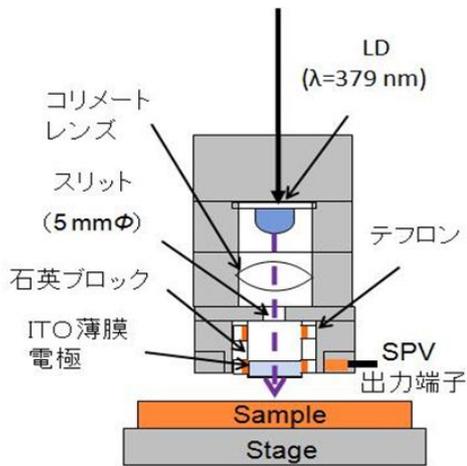


図2 表面光電圧プローブの概略図

#### 4. 研究成果

##### (1) 表面光電圧測定の高感度化

図3は、エキシマレーザーアニールによって多結晶化させた膜厚約50nmのシリコン薄膜から得た交流表面光電圧とマイクロ波光導電減衰法により測定したマイクロ波反射強度の関係を示したものである。この結果から励起光源を発光ダイオード（光パワー1.1 mW）からレーザーダイオード（動作電流  $I_F=230$  mA, 光パワー86.2 mW）に変更したことにより、約5倍の高感度化を達成した。また、多結晶シリコン薄膜の結晶粒半径に対する交流表面光電圧の分解能については、レーザーダイオード使用により1.28 mV/nmを得た。

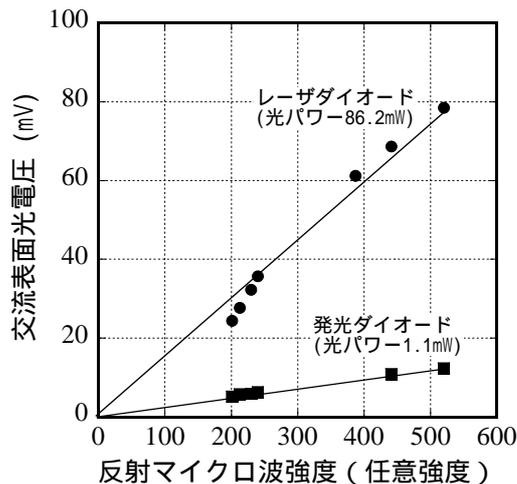


図3 励起光源変更による表面光電圧測定の高感度化

##### (2) エキシマレーザーアニールにより多結晶化したシリコン薄膜の評価

図4に、結晶性の異なる多結晶シリコン薄膜及びアモルファスシリコン薄膜から得られた表面光電圧波形を示す。レーザーダイオード動作電流  $I_F$  は230 mA とし

た。

アモルファスシリコン薄膜における表面光電圧波形から、表面光電圧はほとんど発生していないことが分かる。多結晶シリコン薄膜では、結晶性が良くなるほど (> > >) 大きな表面光電圧が発生している。これは、励起光照射により生じた过剩キャリアが主に結晶粒界で再結合し消滅しているため、結晶粒が大きいほどキャリア寿命が長くなるためである。

また、励起光照射(ON)のとき正の表面光電圧が発生し、光の照射をやめる(OFF)と表面光電圧は消失している。励起光照射(ON)による正の表面光電圧発生は、表面が空乏・反転状態となったn型シリコン単結晶ウェーハにおける表面光電圧波形と同じである。すなわち、励起光照射で生成された電子正孔対のうち、正孔が多結晶シリコン表面に、電子が多結晶シリコン/石英基板界面に電荷分離していることを示している。この結果は、多結晶シリコン薄膜における電子構造がn型シリコン単結晶表面と類似していることを示している。

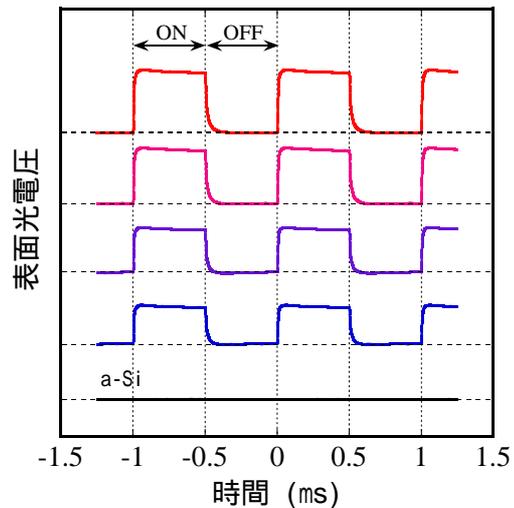


図4 多結晶シリコン薄膜から得られた表面光電圧波形

図5に交流表面光電圧と平均結晶粒半径の関係を示す。平均結晶粒半径は、表面の電子顕微鏡像観察により得られた平均結晶粒面積から結晶粒を円柱と仮定し見積もった。また、比較のためにレーザーダイオード動作電流  $I_F=230$  mA における測定結果を  $\times 1/5$  倍,  $I_F=50$  mA における測定結果を  $\times 5$  倍,  $I_F=25$  mA における測定結果を  $\times 10$  倍として示してある。

光パワーが小さい ( $I_F=25$  mA, 50 mA) 場合には、交流表面光電圧はばらつきはあ

るものの、平均結晶粒半径に対して比例的に増大している。光パワーが大きい ( $I_F=100\text{mA}$ ,  $230\text{mA}$ ) 場合には、交流表面光電圧は平均結晶粒半径が  $60 \sim 80 \text{ nm}$  までは平均結晶粒半径に比例しており、それ以上の平均結晶粒半径では飽和した。

エキシマレーザーアニールによって多結晶化されたシリコン薄膜では、結晶粒内の欠陥密度は小さいことから、過剰キャリアの再結合は粒界の捕獲準位及び表面捕獲準位によって生じる。励起光パワーが小さいとき、生成される過剰キャリアの数が少なく、主に結晶粒界が再結合中心となり結晶粒界までキャリアが拡散していくことで再結合が生じると考えられる。よって、表面光電圧は結晶粒半径に依存する。一方、強励起光パワーで大量の過剰キャリアが生成されると、表面での再結合割合が大きくなり、結晶粒半径に対して交流表面光電圧は依存しなくなると考えられる。

この結果から、交流表面光電圧の飽和が生じない結晶粒半径が小さい場合、励起光パワーを上げることで高分解能な評価が可能であり、結晶粒半径が大きい場合、励起光パワーを抑える必要があることが示された。したがって、表面光電圧法によるシリコン薄膜の結晶性評価では、試料によって適切な励起光パワーの選択をすることが重要であることを明らかにした。今後、様々な使用の試料を作製し、詳細に調べていく。

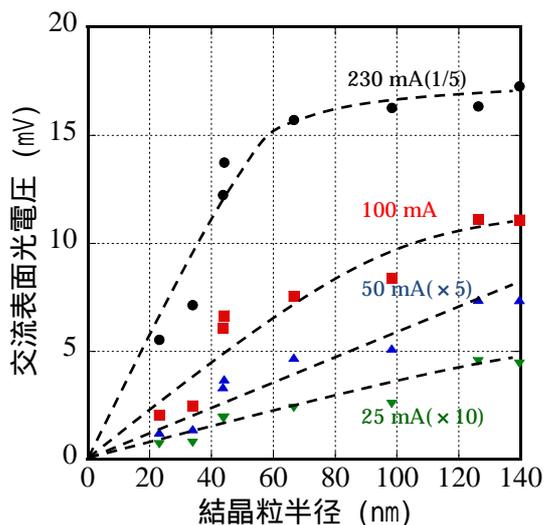


図 5 交流表面光電圧と平均結晶粒半径の関係

(3)熱処理したアモルファスシリコン薄膜の交流表面光電圧評価

図 6 に、熱処理したアモルファスシリコ

ン薄膜から得られた表面光電圧波形を示す。レーザーダイオード動作電流  $I_F$  は  $230 \text{ mA}$  とした。

熱処理を施したアモルファスシリコン薄膜では、表面光電圧は熱処理温度の増大に伴い増大した。

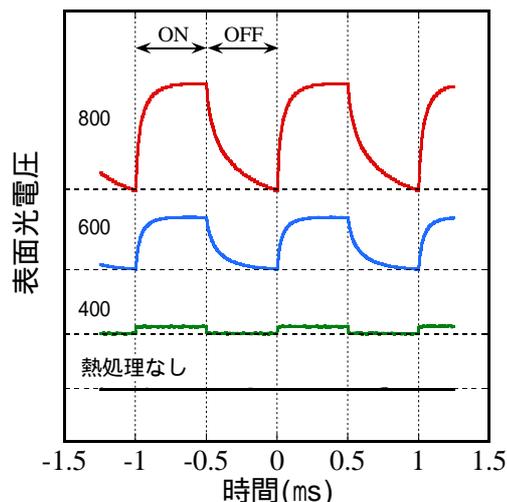


図 6 熱処理したアモルファスシリコン薄膜から得られた表面光電圧波形

図 7 に、交流表面光電圧とアモルファスシリコン薄膜の熱処理温度の関係を示す。熱処理時間は 1 時間である。レーザーダイオード動作電流  $I_F$  は  $230 \text{ mA}$  とした。

熱処理温度  $300$  及び  $400$  では、交流表面光電圧はアモルファスシリコン薄膜と差はほとんど生じない。熱処理温度  $500$  から交流表面光電圧は増大し、 $800$  で最大となった。 $900$  及び  $950$  の熱処理では、交流表面光電圧は  $800$  の値よりも減少した。熱処理温度  $800$  における交流表面光電圧はおよそ  $53 \text{ mV}$  である。エキシマレーザーアニール試料における表面光電圧装置の分解能 ( $I_F=230 \text{ mA}$ )  $1.28 \text{ mV/nm}$  から考えると、結晶粒半径  $41 \text{ nm}$  の結晶粒の成長が予測された。しかし、走査型電子顕微鏡像及び X 線回折パターンにおいて、熱処理したアモルファスシリコン薄膜の多結晶化は確認できないことから、熱処理したアモルファスシリコン薄膜における表面光電圧の増大は、アモルファスシリコン薄膜内の欠陥密度の低減によって生じたものだと考えられる。本熱処理では温度  $800$  で交流表面光電圧は最大となり、最もアモルファスシリコン薄膜内の欠陥密度が低減したと考えられる。熱処理温度  $900$  以上での交流表面光電圧の減少の原因は分からないが、高温の熱処理によるアモルファスシリコン薄膜の酸化や膜質の悪化などが考えられる。この点については、さらなる物性的評価によって

検討する必要がある。

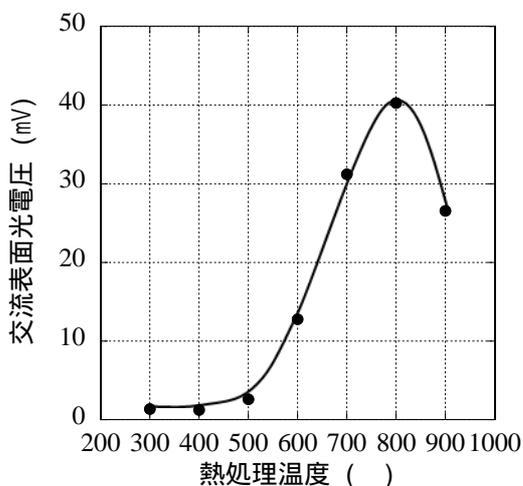


図 7 交流表面光電圧とアモルファスシリコン薄膜の熱処理温度の関係

本実験結果は、シリコン薄膜において再結合中心として働く欠陥などについて表面光電圧法での評価が可能であることを示しており、今後、水素雰囲気での熱処理、表面状態の改質などの実験を行い、詳細に調べていく。

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表](計8件)

葛生一馬, 池田正則, 清水博文, 高松弘行, 迫田尚和: 表面光電圧法による熱処理したアモルファスSi薄膜の結晶性評価, 日本表面科学会第33回表面科学学術講演会, 27P76 (2013.11.27, つくば国際会議場).

葛生一馬, 池田正則, 清水博文, 高松弘行, 迫田尚和: 表面光電圧法による熱処理したa-Si薄膜の結晶性評価, 平成25年度電気関係学会東北支部連合大会, 1C09(2013.8.22, 会津大学).

葛生一馬, 池田正則, 清水博文, 高松弘行, 迫田尚和: 表面光電圧法を用いた多結晶シリコン薄膜の結晶性評価, 平成24年度日本表面科学東北・北海道支部学術講演会 (2013.3.12, 日本大学工学部).

葛生一馬, 池田正則, 清水博文, 高松弘行, 迫田尚和: 表面光電圧法を用いた多結晶シリコン薄膜の結晶性評価, 平成24年度電気関係学会東北支部連合大会, 2H15(2012.8.31, 秋田県立大学本荘キャンパス).

葛生一馬, 池田正則, 清水博文, 高松弘行, 迫田尚和: 表面光電圧法を用いた多結晶シリコン薄膜の結晶性評価, 福島県ハイテク

プラザ研究成果発表会, (2012.7.24, 福島県ハイテクプラザ).

葛生一馬, 池田正則, 清水博文, 高松弘行, 迫田尚和: 表面光電圧法を用いた多結晶シリコン薄膜の結晶性評価, Cat-CVD 研究会第9回研究集会, P-04 (2012.6.23, 日本大学生産工学部).

池田正則, 清水博文, 高松弘行, 迫田尚和: 表面光電圧法による多結晶シリコン薄膜の結晶粒径評価, 平成23年度日本表面科学東北・北海道支部学術講演会, P-16 (2012.3.9, 東北大学多元研).

池田正則, 清水博文, 高松弘行, 迫田尚和: 表面光電圧法による多結晶シリコン薄膜の結晶粒径評価, 平成23年度電気関係学会東北支部, 2H12 (2011.8.26, 東北学院大学).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

池田 正則 (IKEDA, Masanori)  
日本大学・工学部・教授  
研究者番号: 10222902

##### (2) 研究分担者

清水 博文 (SHIMIZU, Hirofumi)  
日本大学・工学部・教授  
研究者番号: 10318371