

氏名(本籍)	きた はら よし ゆき 北原義之(長野県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第3916号
学位授与年月日	平成18年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理工学物質科学研究科
学位論文題目	多結晶半導体デバイスにおけるキャリア輸送とデバイス特性に関する研究
主査	筑波大学教授 理学博士 名取 研二
副査	筑波大学教授 理学博士 秋本 克洋
副査	筑波大学教授 工学博士 山部 紀久夫
副査	筑波大学助教授 Ph.D. 佐野 伸行

論文の内容の要旨

液晶ディスプレイおよび有機ELディスプレイなどの画素を高速に駆動させる素子として近年ポリシリコン薄膜トランジスタ(以下ポリシリコンTFT)が注目を集めている。このポリシリコンTFTはスイッチング特性などの高速化や、SRAMをはじめとするメモリーや演算回路などの高機能化を目的として、さらなる微細化が進められている。また一方では、キャリア輸送の障害と成り得るポリシリコンの結晶粒界を低減させる目的で、結晶粒の大粒径化も検討されている。しかしながら、これらTFTの微細化、結晶の大粒径化に伴い、これまであまり注目されなかった結晶粒界がTFTに対して顕在化し、素子特性に影響を与える可能性が考えられる。すなわち、今後の素子微細化技術の発展に伴い、これまで問題にならなかったチャネル領域でのポリシリコン膜特有の結晶粒のばらつきが、TFT素子そのものの特性に直接影響を与え、特性ばらつきの原因となる可能性である。一方で、近年のめざましいコンピュータ技術の発展により、CADやTCADに代表されるシミュレーション技術もまた格段に進化し、メモリーなどの単結晶シリコンデバイスのみならず、アモルファスシリコンのような非晶質な材料やポリシリコンなど多結晶膜についてもさかんにモデルが研究、検討されており、今やこれらの材料を用いた製品の開発設計だけでなく、研究開発などにも幅広く適用されている。しかしながら、この顕在化してくる結晶粒界の存在が素子特性に今後どのような影響を与えるかについての研究はあまりされていないのが現状である。これは、今日のポリシリコンTFTシミュレーション技術では、結晶粒界に存在する局在準位のポリシリコン膜層全体に“ならず”ように振り分けるアモルファスシリコンTFTシミュレーション技術の延長線上のモデリングをベースにしているためである。

そこで本研究では、今後顕在化してくると考えられるTFT素子の微細化に伴う電流ゆらぎの顕在化とその物理機構を明確にするため、ポリシリコンTFTにおける結晶粒径のばらつきを考慮した、より現実系に近い、新たなTFTのドリフト拡散シミュレーションモデルを開発し、本モデルを適用することにより、結晶粒径ばらつきがTFTのサブスレッショルド特性に与える影響について解析した。具体的には、本質的にばらつく結晶粒界をドリフト拡散デバイスシミュレーションに反映させた新しいTFTシミュレーションモデルを構築し、本モデルを用いて大規模シミュレーションを実施することにより、さまざまな結晶粒径の配

置のもとでのポリシリコン TFT のサブスレッショルド特性を求め、結晶粒ばらつきに起因する TFT 素子のばらつきへの影響を定量的に解析した。その結果、ポリシリコンの結晶粒径のゆらぎにより、しきい値電圧は変動し、そのばらつきは正規分布に従うことを示した。また、素子微細化に伴うポリシリコン TFT の一般的なサブスレッショルド特性の傾向をシミュレーション検証したところ、長チャンネル TFT において、結晶粒径ゆらぎがもたらすデバイス特性のばらつきは、チャンネル内に含まれる結晶粒界の本数によって支配的に決まることを見出した。さらに長チャンネル、短チャンネルデバイスにおける結晶粒界の本数としきい値電圧を検証することにより、TFT の短チャンネル化に伴い、結晶粒径のばらつきによって生じるしきい値電圧のばらつきが増大し、これらがチャンネル長に含まれる結晶粒界の本数だけではなく、その位置によっても影響を受けることを明らかにした。また、キャリアが拡散輸送の形態をとり、電氣的にオーミックとみなせるソース、チャンネル中央領域の粒界とは異なり、ドレインの高電界によりキャリアがドリフト輸送の形態をとるドレイン近傍では、ドレイン領域に最も近い結晶粒界によって電位勾配が変わり、それによってキャリアが低密度で高抵抗なドリフト領域の長さが変わるためにチャンネル抵抗が変化し、その結果、しきい値がばらつくことを見出した。次に、これらの知見をもとに粒径のばらつきを考慮にいった TFT 特性の理論解析モデルの構築を行った。具体的には、TFT 特性の“ばらつき”を（大規模計算によらず）直接的に求める手法として、新たに確率密度を導入した。大規模シミュレーションより得られた知見から TFT 特性のばらつきの要因である結晶粒界の位置ばらつき、および結晶粒界の本数のばらつきをそれぞれ確率変数とし、この確率変数の分布を与えることにより、ドレイン電流の確率密度を求めることにより、長チャンネルデバイスにおいては、大規模シミュレーションで得られる結果と同等な、正規性をもつしきい値の分布を得ることができた。これらの結果より、粒径のばらつきに起因するしきい値電圧ばらつきは、短チャンネル化に伴い、デバイスに含まれる粒界の本数の影響に加えて、粒界位置のばらつきによる影響が顕在化し、今後 TFT 素子の開発については結晶粒界の位置の制御が重要となってくることを見出した。

審査の結果の要旨

液晶ディスプレイおよび有機 EL ディスプレイなどの画素を高速に駆動させる基本素子であるポリシリコン薄膜トランジスタ（ポリシリコン TFT）について、ポリシリコン特有の結晶粒界に伴った動作特性（しきい値電圧）のばらつきを、大規模なデバイスシミュレーションと解析的な理論モデルにより、検討を行っている。このような問題意識は、今後のポリシリコン TFT の研究開発において不可避な問題であるにもかかわらず、これまでほとんど解析されたことがない。その意味で、本研究で構築されたシミュレーションモデルと手法は、今後のポリシリコン TFT 特性ばらつき解析のパイオニア的研究になる可能性を秘めており、本論文における問題意識と研究手法は高く評価することができる。特に、デバイスサイズが微細になったときに、ドレイン近傍にある結晶粒界が素子特性に顕著な影響を与えることを物理的に明らかにした点については、今後の素子特性ばらつき抑制のための有効な知見を与えていると考えられる。さらに、大規模シミュレーションにより得た物理的知見をもとに、簡単な解析的モデルを構築することにより、素子特性ばらつきの定性的傾向の説明に成功している点も評価できる。

また、学位論文審査委員会での高度な内容にわたる質疑に対しては、著者は的確にその応答を行うことができおり、本論文の内容を正確に理解していることが伺われた。また、質疑応答の的確さから、その研究が著者独自の創造性によって遂行されたものと判断される。本論文の内容の一部は、本研究分野で国際的に最も権威ある論文誌（Journal of Applied Physics 等）によって受理、出版されており、本論文の内容の重要性が標準以上に高いものであると判断できる。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。