

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Hydrogen Diffusion and Termination Effects in Hydrocarbon-Molecular-Ion Implanted Silicon Epitaxial Wafers for Advanced CMOS Image Sensors
著者(和文)	奥山亮輔
Author(English)	Ryosuke Okuyama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11599号, 授与年月日:2020年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:若林 整,筒井 一生,大見 俊一郎,宮島 晋介,角嶋 邦之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11599号, Conferred date:2020/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	奥山 亮輔		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	若林 整	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、幅広い分野で撮像用デバイスとして使用されている Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) イメージセンサの特性向上に繋がる炭化水素分子イオン注入シリコンウェーハの水素拡散挙動と水素終端効果に関する研究内容をまとめたものである。近年、CMOS イメージセンサは車載搭載用途等の低照度環境におけるノイズの低減が重要となっている。このノイズの要因は、転送トランジスタゲート酸化膜、素子分離領域に形成されるシリコン (Si) の未結合手である Si ダングリングボンドに起因した SiO₂/Si 界面準位であることが知られている。SiO₂/Si 界面準位の低減には、デバイス後工程での水素アニーリングによる Si ダングリングボンドの水素終端がおこなわれてきたが、近年は後工程プロセスでの配線層の多層化によって水素の拡散阻害による水素終端の不足が懸念されている。他に、モノマー水素イオン注入による SiO₂/Si 界面準位低減の検討事例があるが、繰り返し熱処理が実行されるデバイス工程では水素が容易に拡散することから適用が難しかった。

そこで、本研究では炭素と水素を同時に注入可能である炭化水素分子イオンを注入した後にシリコンエピタキシャル成長をおこなう新たなシリコンウェーハコンセプトに着目した。炭化水素分子イオン注入イオン注入領域は水素を捕獲することが可能であり、この水素が注入領域からデバイス形成領域に拡散することによって SiO₂/Si 界面準位に対する水素終端効果が期待されている。しかしながら、炭化水素分子イオン注入領域の水素の拡散挙動は過去に報告がなく、さらに界面準位密度の低減を直接観察した事例も報告されていなかった。

それゆえ、炭化水素分子イオン注入シリコンエピタキシャルウェーハの水素拡散挙動および水素終端効果のメカニズムを明らかとし理解することは、今後多様な用途に応用される CMOS イメージセンサの性能向上による社会貢献のため、さらには産業応用および基礎学問としても重要であると考ええる。以下は各章の概要となる。

第1章「Introduction」では、本研究の背景である CMOS イメージセンサの概要とシリコンウェーハに要求される技術開発のトレンドについて概説し、本研究の目的と意義を明確にする。

第2章「Experiment and analysis method」では、解析に用いた TCAD シミュレーションの概略と実験に用いた評価、解析手法に関して記述する。

第3章「Defect formation in hydrocarbon-molecular-ion implanted region」では、炭化水素分子イオン注入直後とエピタキシャル成長後の欠陥形成挙動に着目し、炭化水素分子イオン注入領域に形成される欠陥を明らかとし、それらが炭素に起因した複合体として形成されていることを TCAD 解析によって見出した。

第4章「Diffusion behavior of hydrogen in small thermal budget」では、炭化水素分子イオン注入エピタキシャルウェーハにおいて、900℃ 以下の短時間熱処理時の水素拡散挙動を明らかとする。注入領域からの水素脱離モデルを仮定し、脱離活性化エネルギーとして 0.76eV を導出した。この値はシリコン中の C-H₂ 結合エネルギーに近く分子状水素が脱離している可能性を見出した。

第5章「Kinetic analysis of hydrogen diffusion behavior with TCAD simulation」では、第4章にて得られた水素脱離時の活性化エネルギーと注入領域に形成される炭素複合体と水素の結合状態を仮定した反応モデルを TCAD にて計算することによって、実験と計算結果が一致することを示す。

第6章「Hydrogen diffusion behavior in large thermal budget」では、第4章の熱処理条件よりも高温長時間の熱処理をおこなった際の水素拡散挙動を明らかとする。熱処理時間に対して二つの脱離挙動を仮定したモデルによって、水素分子の拡散状態と水素原子の二つの水素拡散状態が存在している可能性があることを見出した。

第7章「Termination effect of hydrocarbon molecular ion implanted silicon wafers」では、炭化水素分子イオン注入の有無で追加アニールによる水素終端効果を評価するために、CV 測定による界面準位密度の算出および電子スピン共鳴 (ESR) 法による SiO₂/Si 界面の欠陥評価をおこなった。炭化水素分子イオン注入ウェーハによって界面準位密度が低減することを確認し、水素終端効果を明らかとすることができた。

第8章「結論」では第3章から第7章までに得られた結果をまとめ本論文の結論とした。また、今後の課題についても併せて述べ、本研究の今後の展望とした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	電気電子	系
Department of, Graduate major in	電気電子	コース
学生氏名：	奥山 亮輔	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	若林 整	
Academic Supervisor(main)		
指導教員 (副)：		
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis related to the hydrocarbon molecular ion implanted epitaxial silicon wafer with hydrogen storage effect that contributes to the performance improvement of CMOS image sensors.

Chapter 3 focused on the defect formation behavior after hydrocarbon molecular ion implantation and after epitaxial growth.

In chapter 4, the hydrogen profile after hydrocarbon molecular ion implantation and the hydrogen diffusion behavior after epitaxial growth and small thermal budget were investigated by SIMS analysis.

Chapter 5 demonstrated that the trapping behavior of hydrogen in the implanted region of a hydrocarbon-molecular-ion after epitaxial growth can be calculated by technology computer aided design (TCAD) with a reaction model in which hydrogen binds to a carbon and Si self-interstitial (CI)-cluster.

Chapter 6 demonstrated the hydrogen diffusion behavior after large thermal budget than in chapter 4.

We found that hydrogen desorbed from the projection range of hydrocarbon molecular ion may include not only molecular hydrogen but also atomic hydrogen.

In chapter 7, we demonstrated that C₃H₅-implanted epitaxial silicon wafer can reduce the D_{it} and Pb₀ center density by capacitance-voltage and electron spin resonance measurements, respectively.

D_{it} and Pb₀ center density without C₃H₅ increased after 700°C annealing. On the other hands, D_{it} and Pb₀ center density with C₃H₅ decreased after 700°C annealing.

These results indicate that C₃H₅ ion implanted epitaxial silicon wafer has the passivation effect for terminating the SiO₂/Si interface state defects.

In addition, we derived the activation energy 1.67 eV of the hydrogen termination reaction with hydrogen molecules and Si dangling bond at SiO₂/Si interface.

Therefore, we found that hydrogen molecules out-diffusing from the projection range of hydrocarbon-molecular-ion implantation region can reduce the SiO₂/Si interface state.

We conclude that the hydrogen termination effects of the hydrocarbon molecular ion implanted epitaxial silicon wafer can contribute to the high electrical device performance such as low noise or dark current due to interface state defects at SiO₂/Si of CMOS image sensors.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).