

氏名	佐藤 公泰
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第3632号
学位授与の日付	平成20年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	応力印加DLTS法および赤外吸収法によるSi中の白金 - 水素複合欠陥の研究
論文審査委員	教授 上浦 洋一 教授 奈良 重俊 准教授 鶴田 健二

学位論文内容の要旨

半導体製造工程においては雰囲気中に水素(H)が多量に含まれている。水素は半導体中に容易に侵入し、電氣的活性な欠陥を不活性化したり中性な欠陥を活性化するなど、半導体の電氣的特性に大きく影響することが知られている。本研究ではこのHを第一に注目した。一方、白金(Pt)などの遷移金属不純物は半導体中に侵入すると深い電子準位を形成するため、電氣的・光学的特性に大きく影響する。そこで、ライフタイム・キララーとして有効利用されているPtを第二に注目した。HはこのPtと相互作用して白金 - 水素複合欠陥を形成し、新たな準位を生ずることが報告されている。しかし、その構造と電子準位を対応させた研究や、複合欠陥内部での水素の運動などについての報告はほとんどない。また、近年の「ひずみSi」に代表されるように、半導体材料の特性に対するひずみの効果が注目されているため、応力による特性変化を調べることはたいへん重要である。本研究では、Si中の白金 - 水素複合欠陥に注目し、応力によるエネルギー状態の変化と構造との関連を明らかにすることと、複合欠陥内部における水素の運動を研究し、水素の移動に関する知見を得ることを目的とした。以下では本論文における各章の概要を示す。

第1章では、本研究の背景として、水素及び白金がSiの電氣的・光学的に及ぼす影響について述べ、今までの白金 - 水素複合欠陥に関する研究の現状を解説した。さらに、本研究の目的を記述した。

第2章では、本研究で用いた2種類の測定手法Isothermal Deep-Level Transient Spectroscopy (IT-DLTS) 法と Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)法それぞれの原理と解析方法を述べた。

第3章では、上記2種類の手法の試料作製と測定手順について述べた。

第4章では、応力印加IT-DLTS法を用い、Pt原子1個とH原子2個から成る複合欠陥(Pt-H₂)の電子準位について測定を行った。〈111〉応力によるPt-H₂の分裂パターンから欠陥の対称性を明らかにし、Pt-H₂の応力シフトから電子準位の応力依存性を求めた。

第5章では、水素が移動できる条件でアニールを行い、全エネルギーが最も低い安定配置に整列する応力配向を観測し、Pt-H₂の安定配置と準安定配置とのエネルギー差を求めた。

第6章では、FT-IR法で観測した赤外吸収線と白金 - 水素複合欠陥の振動モードを対応させた。〈100〉応力による各ピークの分裂と欠陥の対称性を検討し、荷電状態が中性な(Pt-H₁)⁰の応力シフトを求めた。

第7章では、FT-IR法で観測した配向アニールでの結果をもとにPt-H₁複合欠陥モデルを提唱し、構造と(Pt-H₁)⁰の応力シフトとの関係を詳しく議論した。

第8章では、格子間酸素欠陥O_iの密度と熱処理の関係をFT-IR法で評価した。

第9章では、本研究により得られた結果を総括し、本研究のまとめとした。

論文審査結果の要旨

本研究は、シリコンの電氣的・光学的特性に大きく影響する不純物である水素と白金が相互作用して形成される白金-水素複合欠陥の電子準位、配置のエネルギー状態、構造、局在振動などに対する応力効果を明らかにし、応力下における複合欠陥の挙動に関する知見を得ることを目的として行ったものである。実験及び解析では、Isothermal Deep-Level Transient Spectroscopy (IT-DLTS) 法を用いて、白金-水素複合欠陥の電子準位 ($E_C-0.15$ eV) を観測した。また、一軸性応力を加えると電子準位が影響を受けIT-DLTSピークが分裂することを明らかにし、分裂したピークのシフトから電子準位の応力依存性を求めた。さらに、応力を印加した状態で水素が移動できる温度でアニールを行うと、欠陥の全エネルギーが最も低い配置に欠陥の配向が揃う(応力配向が起こる)ので、分裂したピークの強度比が変化する。この応力配向を調べることで欠陥の安定配置と準安定配置のエネルギー差の応力依存性を評価した。

次に、Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)法を用いて赤外線吸収ピークを観測し、それらのピーク波数位置から以下のような複合欠陥であると同定した。まずPt原子が1個とH原子が1個から成り荷電状態が中性な複合欠陥『 $(Pt-H_1)^0$ 』、次にPt原子が1個とH原子が2個から成り荷電状態が中性な複合欠陥『 $(Pt-H_2)^0$ 』、最後にPt原子が1個とH原子が3個から成る複合欠陥である。最後の欠陥については、荷電状態がマイナス一価の『 $(Pt-H_3)^-$ 』と中性の『 $(Pt-H_3)^0$ 』の2種類を観測した。また、応力によるピークの分裂比から対称性との関連を調べた。特に、高い強度の $(Pt-H_1)^0$ ピークについて詳しく研究し、その応力シフトを求めた。さらに、FT-IRで観測した配向アニールのスペクトルの変化から得られた知見と合わせて、Pt-H₁の構造モデルを提唱し、応力との関連を議論した。

以上のように、本研究はシリコン中の白金-水素複合欠陥の電子準位、構造、水素の運動とそれらに対する応力効果に関して重要な知見を提示したものであり、工学的応用の価値が高いものである。したがって、博士(工学)の学位を授与するに値するものであると判断する。