

氏 名	とよ 豊	た 田	よし 啓	たか 孝
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)			
学位記番号	工 博 第 1541 号			
学位授与の日付	平 成 8 年 3 月 23 日			
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当			
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 子 工 学 専 攻			
学位論文題目	A Study on the Charging Mechanisms of Electrically Insulated Substrates in Negative-Ion Implantation (負イオン注入における絶縁基板の帯電メカニズムに関する研究)			
論文調査委員	(主 査) 教 授 石 川 順 三	教 授 今 西 信 嗣	教 授 橋 邦 英	

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、チャージアップフリー注入を目的とした負イオン注入における低帯電機構の解明とその帯電状態を決定づける負イオン誘起二次電子の特性に関する研究成果をまとめたものであり、5章からなっている。

第1章は序論であり、半導体デバイス製造等におけるイオン注入法の利点と正イオンを用いる従来のイオン注入では絶縁基板の帯電が本質的に避けられない問題であることについて述べ、イオン注入時の帯電が小さいことを示す予備実験の結果から帯電問題の根本的な解決には負イオン注入法が有効であることを指摘している。そして、負イオン注入時の帯電と基板表面から放出される二次電子の間には密接な関係があり、その特性を明らかにすることが負イオン注入時の絶縁基板の帯電機構の解明に極めて重要であることを述べている。

第2章では、放出比とエネルギー分布という負イオン誘起二次電子の特性量の測定結果について述べている。イオンとターゲットの種類、イオン速度およびイオン電流密度をパラメータとして導体と絶縁物のそれぞれに対して測定を行った結果、 $10^5 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  台のイオン速度範囲で放出比がイオン速度に比例すること、さらに放出比が加法則の成り立つことを明らかにし、カインティックエミッションが負イオン誘起二次電子の主な放出機構であることを示している。加えて、電子親和力により負イオンと結びついた付加電子がイオン衝撃によって脱離することを示し、負イオン誘起二次電子がカインティックエミッションに起源をもつ電子と負イオンからの脱離電子とから構成されることを明らかにしている。一方、エネルギー分布については1eV程度のピークエネルギーで高エネルギー側にすそ野をひくという、正イオンや電子励起の場合のエネルギー分布とほぼ同じ形状で、40keV以下のイオンエネルギー、数 $\mu\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以下のイオン電流密度ではその形状はほとんど変化しないことを測定によって明らかにしている。また、以上の結果が試料の電気伝導性には無関係であることも示している。

第3章と第4章では、絶縁された導体基板(孤立電極)と絶縁基板の場合について実際に負イオン注入

時の帯電電圧測定を行っている。そして、その結果と第2章で得られた二次電子の特性量の測定結果から負イオン注入における低帯電機構の解明を行い、負イオン注入時の帯電電圧は実用的なイオン注入におけるイオンエネルギーの範囲(10keV程度から数百keV程度のエネルギー範囲)では、電荷補償を行わずともその帯電電圧の大きさは数V程度に収まり、負イオン注入が実用になることを実証している。

第3章においては、孤立電極への負イオン注入時の帯電現象について詳細に述べている。まず、負イオン注入時の孤立電極の帯電電圧が測定結果から正の数Vであることを示し、イオンエネルギー、イオン電流密度、イオン種などのパラメータを変えたときの帯電電圧の変化についても明らかにしている。そして、第2章で得られた結果に孤立電極の場合の帯電機構、すなわち、「放出二次電子のうち低エネルギーの電子が周囲と電極の間に形成された電界によって電極に引き戻されることで自動的に電荷平衡状態に達する」を提案し、これが測定結果と定量的によく一致することを述べている。

第4章においては、絶縁物の場合の負イオン注入時の帯電について述べている。絶縁物では帯電電圧の直接測定が不可能であるため放出される二次電子エネルギー分析によって帯電電圧を求め、その結果負イオン注入時の絶縁物の帯電電圧は負の数Vであることを明らかにしている。さらに、イオンエネルギー、イオン電流密度を変えた場合の帯電電圧の変化にも言及している。そして、絶縁物の場合の帯電機構、すなわち、「分極によって絶縁物表面近傍に形成される電位障壁のため励起電子の移動が制御され、注入される負イオンと放出される二次電子が等しくなる平衡状態に自動的に達する」から電気二重層に基づいた帯電モデルを提案し、このモデルが実験結果を定性的に説明することを示している。

最後に第5章では、本論文で得られた成果を総括すると同時に、半導体デバイス製造における負イオン注入による絶縁基板の帯電に関して残された課題と今後の展望について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、チャージアップフリー注入を目的とした負イオン注入における低帯電機構の解明とその帯電状態を決定づける負イオン誘起二次電子の特性に関する研究成果をまとめたものであり、得られた成果は次の通りである。

- 1) 負イオン誘起二次電子の放出機構は、カインティックエミッションと、電子親和力により負イオンと結合した付加電子の脱離とからなり、また、この放出機構は試料の電気伝導性には無関係であることを明らかにした。
- 2) 負イオン注入時における孤立電極の帯電電圧は正の数Vであり、イオンエネルギーに対して徐々に増加する。また、 $1\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以下のイオン電流密度では帯電電圧は一定値を示し、この電流密度以上ではビーム電位の影響により低下するが、希ガスの導入により容易に帯電緩和が可能であることを見出した。
- 3) 放出二次電子のうち低エネルギーの電子が周囲と電極の間に形成された電界によって電極に引き戻され自動的に電荷平衡状態に達するという、負イオン注入における孤立電極の帯電機構を明らかにした。
- 4) 表面から放出される二次電子のエネルギー分析によって絶縁物の帯電電圧が求められることを示し、

負イオン注入時の絶縁物の帯電電圧は負の数Vであり、その絶対値がイオンエネルギーに対して徐々に増加すること、 $1\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以下のイオン電流密度では帯電電圧は一定であることを見出した。

- 5) 分極により絶縁物表面近傍に形成される電位障壁のため励起電子の移動が制御され、注入される負イオンと放出される二次電子が等しくなる平衡状態に自動的に達するという、絶縁物の帯電機構を定性的に明らかにした。

以上、要するに本論文は、従来のイオン注入法では本質的に不可避であった帯電問題において、負イオン注入がその解決に極めて有効であることを負イオン誘起二次電子の特性測定と帯電機構を解明することによって明らかにしたもので、新しい材料プロセス技術の提案を行ったものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成8年2月23日、論文内容とそれに関係した事項について試問を行った結果、合格と認めた。