

低エネルギーイオンビーム無発散走行照射技術

育成研究：JSTイノベーションプラザ京都 平成17年度採択課題
「次世代半導体デバイスに向けた低エネルギーイオンビームの無発散走行照射技術の開発」

代表研究者：京都大学大学院工学研究科 教授 石川 順三



研究概要

次世代半導体デバイス製造プロセスにおける超低エネルギーイオン注入において、シリコン系電界放出電子源による低エネルギー幅電子束を用いて正電荷量を中和することにより、クリーンな空間において半導体基板への平行イオンビーム照射と電荷蓄積阻止を実現する。

研究内容、研究成果

デザインルールが32 nm以降の次世代半導体集積回路作製プロセスでは、イオン注入のエネルギーは0.5～0.2 keVへと低下する。そのため、注入イオンビームはその空間電荷により著しく発散し、作製プロセスに必要なビームの平行性が得られなくなる。このような超低エネルギーイオンビームの空間電荷を中和するための電子源として、半導体への金属汚染の心配のない、表面を炭素化処理したシリコンフィールドエミッタアレイ（Si:C-FEA）を利用することを新規技術として提案した。本方式は、現在使用されているイオン注入装置に新Si:C-FEA電子源を付加するだけで超低エネルギーイオン注入に対応できるため、新装置開発を必要とする他の超低エネルギーイオン注入技術に比べて優位性の高い技術である。

本研究により以下の成果が得られた。ゲート電極がNbおよびシリコンのシリコンフィールドエミッタアレイ（Si-FEA：図1）作製プロセスのレシピを完成した。Si-FEAのエミッタ表面をSi:C化（CHF₃プラズマ処理および炭素負イオン注入）することにより、イオン注入残留ガス雰囲気下における電子源の大幅に長寿命化が可能となった。その寿命特性は動作電流に反比例することが分かった（図2）。また、エミッタ表面のSi:C化により、放出電子のエネルギー分散およびエネルギーシフトが改善され（図3）、減速した低エネルギー電子が効果的に得られることが分かり（図4）、Si:C-FEA電子源がイオン注入装置のイオンビーム空間電荷中和用電子源に適する特性を有することを明らかにした。さらに、500 eVの超低エネルギーイオンビームの空間電荷中和原理実験装置を開発し、Si:C-FEA電子源を用いた500 eV-40 μAネオンイオンビームの空間電荷中和原理実験において、Si:C-FEA電子源によりイオンビームの空間電荷が効率的に中和できることを明らかにし（図5）、超低エネルギーイオンビームの無発散輸送の可能性を実証した。

今後の展開、将来の展望

本研究により、Si:C-FEA電子源を用いた超低エネルギーイオンビームの無発散輸送の可能性が原理実証されたので、この技術を事業化へ展開するためには、実機イオン注入装置での実証実験が必要となる。具体的には、実機イオン電流レベルでの中和を行うことができるSi:C-FEA電子源開発、実機イオン電流レベルでの空間電荷中和実験、実機でのフィールド試験などが必要である。これらの実用化技術を遂行するため、本プロジェクト終了後、JSTの重点地域研究開発推進プログラム（研究開発資源活用型）を日新イオン機器株式会社と共同で2年間推進し、その後、製品化・事業化を目指す予定である。

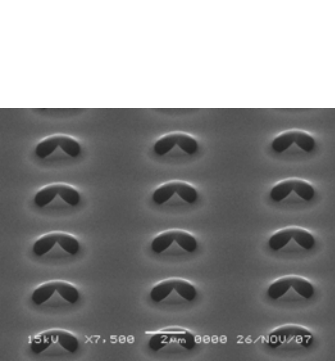


図1 作製したシリコンフィールドエミッタアレイ

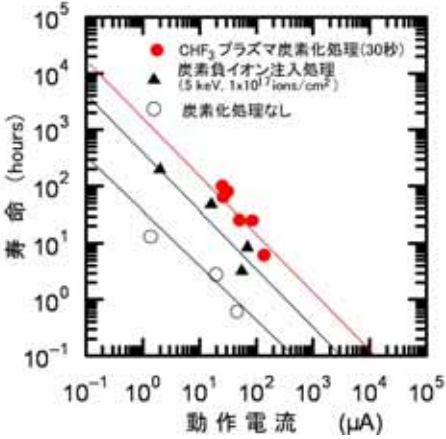


図2 エミッタ炭素化処理したSi-FEAの動作電流と寿命の関係

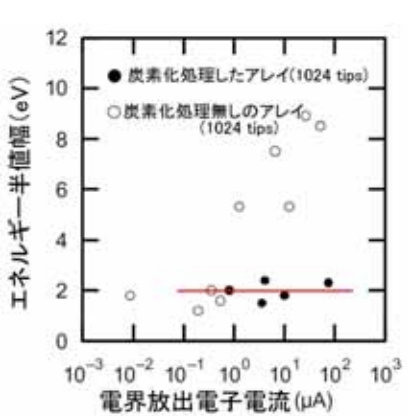


図3 エミッタ炭素化処理したSi-FEA から引き出した電子ビームのエネルギー半値幅

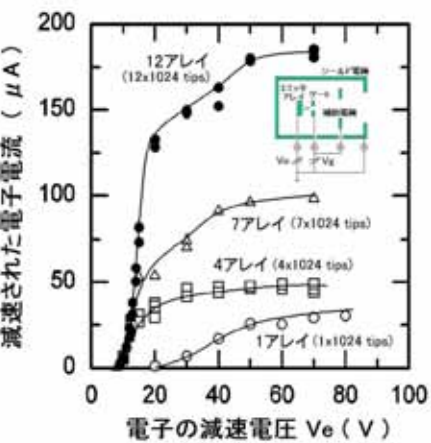


図4 複数 Si:C-FEA アレイからの電子ビームの減速電圧電流特性

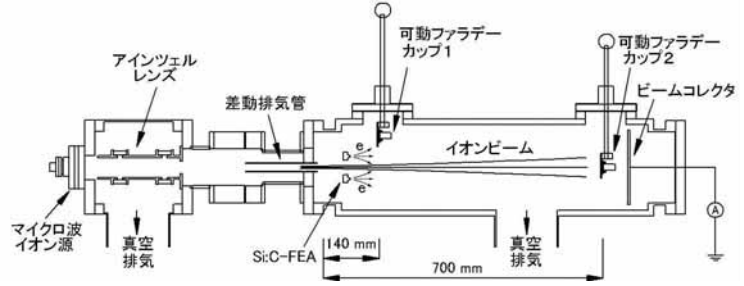
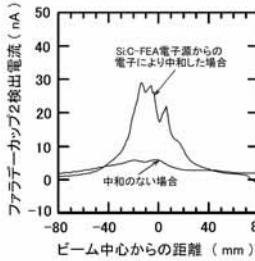


図5 超低エネルギーイオンビーム空間電荷中和原理実験装置（上）と、上流から20 mm^φで導入され、700 mm 走行した超低エネルギーイオンビームの下流におけるプロファイル（右）。Si:C-FEAからの減速電子による空間電荷中和がある場合とない場合



研究体制

- ◆ 代表研究者
京都大学大学院工学研究科 教授 石川 順三
- ◆ 研究者
後藤 康仁（京都大学） 辻 博司（京都大学） 木本 恒暢（京都大学）
酒井 滋樹（日新イオン機器㈱） 竹内 光明（科学技術振興機構）
- ◆ 共同研究機関
日新イオン機器株式会社

研究期間

平成18年4月 ～ 平成21年3月