

Formation of Shallow p^+ /n Junction in Silicon using Non-Melt Laser Annealing

January 2012

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor
of Philosophy in Engineering

Keio University

Graduate School of Science and Technology
School of Integrated Design Engineering

SITI RAHMAH BINTI AID

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	SITI RAHMAH BINTI AID
主 論 文 題 目 :			
Formation of Shallow p⁺/n Junction in Silicon using Non-Melt Laser Annealing (非溶融レーザーアニーリングを用いたシリコンにおける浅 p ⁺ /n 接合の形成)			
(内容の要旨)			
<p>デバイスの微細化に伴い、Si MOSFET では短チャネル効果の影響が著しくなっており、この問題を抑制して微細化を進めるためには、トランジスタのソース・ドレインエクステンション領域の pn 接合を浅くすることが有効である。p チャネル MOSFET では、ボロンがドーパントとして用いられているが、イオン注入でのチャネリング現象や過度増速拡散の問題により、浅接合の形成は困難となっている。本研究では、上記の問題を克服するため、Ge イオン注入アモルファス化 (Ge-PAI)と低エネルギーボロンイオン注入を組み合わせ、極短時間・高温の非溶融レーザーアニーリング(NLA)により、高い電氣的活性化を示す p⁺/n 接合の形成を試みた。ここでは、レーザーアニーリング中におけるデバイス表面微細パターンの破壊を防ぐため、Si 基板を溶融させない非溶融条件のもとで研究を行った。</p> <p>第 1 章は背景、目的を述べた。第 2 章は理論および実験方法の詳細について述べた。第 3 章は一次元熱伝導方程式を用いたレーザーアニーリングにおけるシリコン基板表面温度の計算について述べ、シリコン基板の非溶融・溶融境界のしきいエネルギー値を求めた。</p> <p>第 4 章は KrF 紫外レーザー($\lambda=248$ nm)を用いた非溶融レーザーアニーリングによる p⁺/n 接合形成の結果を述べた。ここでは、レーザーアニーリング前後での短時間急速加熱の導入を検討し、アニーリング法の最適化を図った。また、アニーリングにおけるドーパント (B) の拡散、電氣的活性化およびアモルファス層再結晶化などについて詳細な評価を行った。</p> <p>第 5 章はグリーンレーザー($\lambda=527$ nm)を用いた接合形成について述べた。波長の異なるレーザーの比較検討は第 6 章にまとめた。レーザーアニーリング後のドーパント (B) の拡散挙動に著しい違いが見られた。短波長 KrF レーザーでは、極短時間(数百ナノ秒オーダーパルス)アニーリングにおいて、B の著しい増速拡散がみられた。一方、長波長のグリーンレーザーでは、アニーリング温度が Si の融点に近い 1323 K においてわずかな拡散が見られたが、B の顕著な拡散は見られなかった。また、グリーンレーザーの場合、アモルファス Si の再結晶化速度が KrF レーザーの場合と比べて遅いことがわかった。これらの相違は、主として各レーザーにおけるシリコン基板内の熱分布の違いによることを示した。特に短波長 KrF レーザーでは、表面 Si 層で生じた熱ストレスがイオン注入により発生した点欠陥(格子間シリコン原子)の急速な移動を引き起こすことが考えられる。最後に、この論文全体のまとめと結論を第 7 章に述べた。</p>			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number 80746012	SURNAME, First name SITI RAHMAH BINTI AID
Title Formation of Shallow p^+/n Junction in Silicon using Non-Melt Laser Annealing		
Abstract <p>As device dimensions shrink with increasing levels of integration, short channel effects (SCEs) in p-MOSFETs have become a serious problem since they increase the off-current and reduce the threshold voltage. Forming shallow p^+/n junctions for source/drain extension is a promising method for suppressing SCEs. However, the fabrication process is difficult due to the channeling of boron ions during low-energy boron implantation and anomalous boron diffusion during subsequent thermal annealing. Introducing germanium preamorphization ion-implantation (Ge-PAI) prior to the low-energy boron implantation, with the combination of non-melt laser annealing (NLA) is one of a promising method for forming highly activated shallow p^+/n junction. Previously, laser thermal processing (melting process) has been widely used for forming abrupt shallow junction. However, this process deforms fine patterns by melting the gate and silicon substrate under the isolation oxide structures. To avoid complication arising from melting process, the power of laser can be reduced so that heating can be done without melting. NLA is an alternative method for regrowing the amorphous layer and activating dopants in an extremely short time without melting the substrate. This study reports the formation of shallow p^+/n junction using the combination of Ge-PAI, low-energy boron implantation, rapid thermal annealing (RTA) and NLA. Two types of laser with different wavelength and pulse duration (i.e. KrF and green laser) are used to compare the dopant diffusion, activation and recrystallization of amorphous layer during the formation process.</p> <p>Chapter 1 and Chapter 2 describe the background, theory and experimental methods.</p> <p>Chapter 3 describes the numerical calculation of surface temperature during laser annealing process using one-dimensional heat flow calculation. The threshold energy density for melting is determined from this calculation.</p> <p>Chapter 4 describes the formation of shallow p^+/n junction in Si using NLA by KrF laser (UV laser). Optimization of annealing condition, i.e. by introducing preannealing or postannealing RTA before or after NLA is made to find an optimal annealing condition for forming shallow p^+/n junction. The physical phenomenon, such as boron diffusion, activation and recrystallization of amorphous layer are also studied.</p> <p>Chapter 5 describes the formation of shallow p^+/n junction in Si using NLA by green laser (visible laser). It is to investigate the effect of laser wavelength and pulse duration on the physical phenomenon that occurs during NLA.</p> <p>The comparison between KrF and green laser is described in Chapter 6. A remarkable diffusion of boron in implanted samples subjected to both preannealing RTA and NLA by KrF laser is observed at annealing temperature as lower as 1078 K. In contrast, only limited diffusion was observed in samples subjected to both preannealing RTA and NLA by green laser at annealing temperature of 1323 K. Recrystallization are slower in samples subjected to NLA by green laser than those treated with KrF laser. We considered that the penetration depths and the pulse durations of the lasers are important factors that cause the differences in boron diffusion and recrystallization of amorphous layer. The differences may be caused by differences in the stress field generated during laser annealing due to the difference penetration depths and pulse durations.</p> <p>Chapter 7 summarizes and concludes this thesis.</p>		