

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 17 日現在

機関番号：24506

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22656023

 研究課題名（和文）極浅接合形成のためのレーザープラズマ・ドーパントイオン注入法の開発
 研究課題名（英文）Study of the applicability of fast ions from laser induced plasma to shallow junction doping

研究代表者

関岡 嗣久 (SEKIOKA TSUGUHISA)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40118013

研究成果の概要（和文）：極浅接合形成への応用のため、固体ボロンターゲットにレーザーを照射し、発生したプラズマから放出される高速 B イオンの特性を調べた。発生した B イオンのピークエネルギーは、レーザーの強度を変えることにより、150 から 550eV の範囲でコントロールできる。B イオンの価数ごとのエネルギー分布の測定結果より、レーザー強度が $3.0 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$ 以下の場合、ピークエネルギー近傍の B イオンのほとんどは 1 価であり、出射角度が、レーザーの入射方向から 45° 以内では、ピークエネルギー近傍のイオンの強度は、 $2 \times 10^{12} \text{ ions/(eV}\cdot\text{Sr)}$ 以上であった。これらの結果はレーザープラズマからの B⁺イオンが 10nm 以下の極浅ドーピングに適用可能であることを示している。

研究成果の概要（英文）：The characteristics of fast ions generated from laser-induced plasma on a boron solid target have been studied for an application to shallow junction doping. The peak position in the produced B ion energy spectra can be controlled in a 150–550 eV range by changing the laser intensity. From the measurement of B ion energy spectrum which was resolved into charge states at several laser intensities, most part of the energy spectra around the peak position was found to be composed of B⁺ ions at the laser intensity less than $3.0 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$. The number of produced ions around the peak of the energy spectrum was about $2 \times 10^{12} \text{ ions/(eV}\cdot\text{Sr)}$ or higher within the emission angle smaller than 45° . These results indicate that the produced B⁺ ions are applicable to shallow doping in a sub-10 nm range.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	0	1,600,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	450,000	3,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：(1) 高性能レーザー (2) 放射線, X線, 粒子線 (3) 半導体物性

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

高度情報化社会の進展は目覚ましく、これは、半導体素子の微細化によるものである。素子の微細化にともなって不純物を高濃度にし、より浅いソース/ドレイン接合を形成することが必要とされている。そのため、今日、要求されるイオン注入エネルギーは、数 100eV の低エネルギー領域となり、従来の加速器を用いたイオン注入法では、一旦イオン源から数 10kV 以上のエネルギーで引き出したイオンを数 100eV まで減速しなければならず、スループットが著しく低下する。一方、レーザーを固体ターゲットに照射し、発生するプラズマからは、極浅イオン注入に適したエネルギーのイオンが、大量に発生する。これらのイオンを使用することにより、従来の加速器を用いたイオン注入法では解決困難な問題を克服できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、半導体素子にドーピング層が 10nm 以下の急峻な極浅領域を形成するため、不純物元素を含む固体ターゲットにレーザーを照射し、生成したプラズマから発生するイオンビームを、Si ウェハに極浅イオン注入する制御技術の開発である。

3. 研究の方法

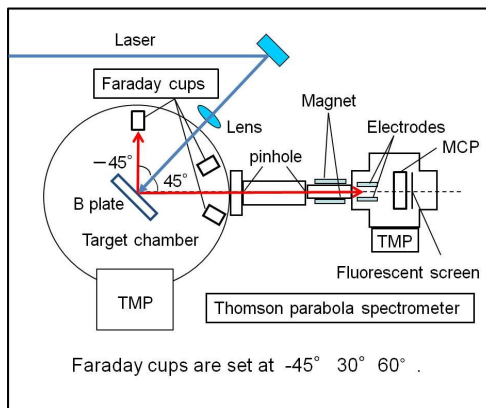


図 1

図 1 に実験装置の概略を示す。Nd:YAG パルスレーザーを 0.3J/pulse で、真空チャンバー内の固体 B ターゲットに照射し、発生するレーザープラズマからの高速 B イオンの発生量のエネルギー分布を 30°、-45°、60° に設置したファラディカップで測定し、発生する B イオンの価数別 (B⁺, B²⁺, B³⁺) のエネルギー分布を、45° に設置したトムソンパラボラ分析器で測定した。

レーザー入射口の直前においたレンズを

焦点位置からチャンバーに向かって、0、10、20、30、40mm の位置に設置し、レーザーのフォーカス条件を変えて、B イオンの測定を行った。

-45° に設置したファラディカップの測定結果を図 2 に示す。各レンズ位置でのレーザー強度を図中に示す。

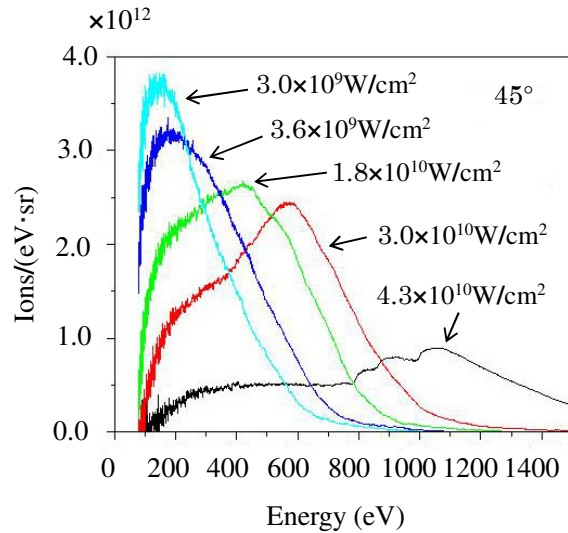


図 2

図 2 より、レーザーのフォーカス条件を変えることにより、レーザー強度を調整でき、B イオンのピークエネルギーを 550eV から 150eV の低エネルギー範囲で制御できることが分かった。なお、30°、-45°、60° に設置した、ファラディカップの測定結果を合わせて、角分布を求めると、出射角度が、よりレーザーの入射方向に近いほど、B イオンの収率が大きいことが分かった。また、トムソンパラボラ分析器による測定結果より、レーザー強度が $3.0 \times 10^{10} \text{W/cm}^2$ 以下の場合、B²⁺ と B³⁺ の収率は B⁺ に比べて無視できるほど少ないことがわかった。

4. 研究成果

前節の実験結果を基に、極浅イオン注入への応用可能性を調べた。イオンの発生量を $2 \times 10^{12} \times (\text{eV} \cdot \text{sr})$ とすると、1 回のレーザー照射で、レーザー照射点から距離 L だけ離れたところに置かれた、面積 S の Si ウェハに照射される、エネルギー幅 $\Delta E [\text{eV}]$ の B イオンの数は、 $\Delta \Omega = S/L^2$ とおいて、 $2 \times 10^{12} \times \Delta E \times \Delta \Omega$ である。極浅接合形成のために必要とされている、 $10^{15}/\text{cm}^2$ のイオン照射を行うために必要な、レーザーパルスのショット数を N とおくと、 $N = 10^{15} \times L [\text{cm}]^2 / (2 \times 10^{12} \times \Delta E [\text{eV}])$ である。この式より、L=100cm、ΔE を 60eV とすると、 $N = 8.3 \times 10^4$ となる。

100W のレーザーは 0.3J のショットを 333Hz で供給できる。 $10^{15}/\text{cm}^2$ のイオン照射を行うために必要な時間 $T[\text{sec}]$ は $T=N/333=250\text{sec}$ と求められる。1 秒間あたり、面積 S の Si ウェハに供給される B^+ を電流に換算すると、 $10^{15} \times S \times 1.602 \times 10^{-19} / T = 0.45 \text{ mA}$ と計算され、現行の低エネルギーイオン注入装置の電流量に匹敵する値となる。

レーザー照射点で発生したプラズマから発生した B^+ イオンは、広いエネルギー分布を持ち、放射状にプラズマ膨張して広がっていく。エネルギーのそろった指向性のよい B^+ イオンビームを Si ウェハ上に供給するため、我々は、図 3 のような照射システムを考案した。

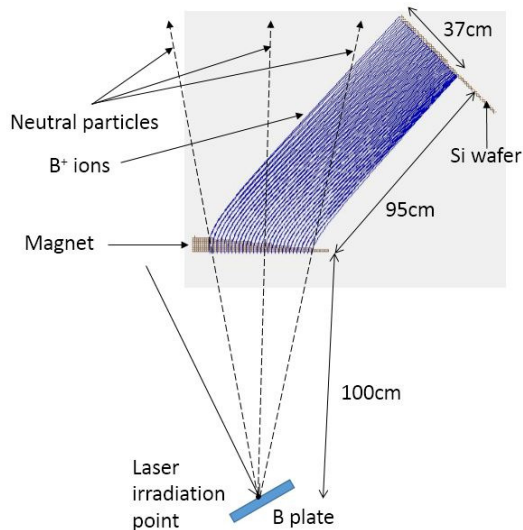


図 3

レーザー照射点より 100cm 離れたところにくさび形の磁極を設置する。磁極入口の長さは約 60cm、磁極間隔は 6cm である。磁極間の磁場の強さは平均 0.2T である。磁場分布及び図中の B^+ イオン軌道は、市販のイオン光学シミュレーションソフト：SIMION を用いて計算した。計算の結果、直径 30cm の Si に照射される B^+ イオンの角度幅は $\pm 1.7^\circ$ 以下となった。磁石の出口から Si ウェハを十分離すことにより、中性粒子は、Si ウェハに照射されない。

なお、エネルギー選別は、磁極入口に 2 枚のグリッドを設置して、前のグリッドは常に接地し、後ろのグリッドには、あらかじめ、1 kV 程度の高圧をかけておき、望みのエネルギーのイオンが来るときだけ、後ろのグリッドの電位を、高圧から接地電位におろすことにより、可能ではないかと考えている。

加速器を用いた低エネルギーイオン注入装置において最も問題となっているのは、空間電荷効果である。空間電荷効果はビームサ

イズに反比例すると考えられる。加速器からのイオンビームのサイズが 1cm 程度であることを考えると、図 3 のようなレーザープラズマを用いたイオン注入装置では、ビームの広がりが数 10cm であり、加速器に比べて、空間電荷効果はかなり緩和されると期待しているが、詳細については検討中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Sekioka T, Amano S, Inoue T, and Mochizuki T

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 査読あり、印刷中。

[学会発表] (計 2 件)

① 関岡嗣久、天野 壯、井上智章、望月孝晏
2010 年 (平成 22 年) 秋季第 71 回応用物理学会
学術講演会、16a-ZD-2 (2010)

② Sekioka T, Amano S, Inoue T, and Mochizuki T

8th International Symposium on Swift Heavy Ions in Matter
October 24-27, 2012, Kyoto, Japan

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

関岡 嗣久 (SEKIOKA TSUGUHISA)

研究者番号：40118013