

高分解能高エネルギーX線光電子分光による次世代半導体プロセス用
極浅プラズマドーピング層のキャリア濃度の非破壊評価
**Non-destructive evaluation of carrier density of ultra-shallow plasma doped
layer by High resolution Hard X-ray Photoelectron spectroscopy (HX-PES)
for the application of the next generation ULSI devices**

金 成国¹、永池英司²、横谷尚睦²、小島雅明²、伊藤裕之¹、佐々木雄一朗¹、
岡下勝己¹、田村秀貴¹、水野文二¹、小林啓介²
*C. G. Jin¹, E. Ikenaga², T. Yokoya², M. Kobata², H. Ito¹, Y. Sasaki¹, K. Okashita¹,
H. Tamura¹, B. Mizuno¹, and K. Kobayashi²

¹株式会社 ユー・ジェー・ティ・ラボ、²高輝度光科学研究センター

¹Ultimate Junction Technologies Inc., ²JASRI/Spring-8

ボロン不純物を導入した極浅プラズマドーピングサンプル（導入深さ：10 nm以下）と上記プラズマドーピングサンプルをアニールして電氣的活性化させたサンプルを、大型放射光施設 Spring-8 の高分解能高エネルギーX線光電子分光装置（BL47XU）を使い測定し、Si 1s スペクトルにおいて、極浅プラズマドーピング層の活性化による結合エネルギーの変化を感度良く測定出来ることが証明された。Si 1s の結合エネルギーはフェルミ準位のバンドギャップ内でのシフトに従って変化する。従って、ドーパされた層の中のキャリア濃度をHX-PES測定によって非破壊で感度良く評価出来ることが分かった。

We measured Hard X-ray photoemission spectroscopy (Si 1s) of ultra shallow plasma doped samples (depth below 10 nm) before and after the thermal annealing in Spring-8, and found that the shift in chemical binding energy by impurity activation can be measured with high sensitivity. The binding energy of Si 1s changes according to the shift in Fermi level as the carrier concentration varies. Thus, the active carrier concentration of ultra shallow junction region can be measured by non-destructive HX-PES with high sensitivity.

背景と研究目的

近年、半導体デバイスの微細化に伴い、短チャネル効果を押さえると同時にデバイス性能を上げるために抵抗が低い浅い接合を形成する技術が求めら

れている。従来はイオン注入の方法を用いて浅い接合を形成しているが、スループットが低く、形成できる深さには限界があった。特にボロン不純物は浅く導入することが難しく、イオン注入では導入領域

の深さは基体表面から 10 nm 程度が限界であった。

我々は更に浅い接合を可能にする手法として低いエネルギー高いスループットをもつプラズマドーピング技術[1]に注目し、接合深さ 10 nm 以下のジャンクション形成を実現出来るプラズマドーピングとアニール技術を開発してきた[2-3]。

Spring-8 の高分解能高エネルギー X 線光電子分光装置[4]は励起 X 線のエネルギーが 6 keV~10 keV と高いため、Si 1s スペクトルの検出深さが丁度我々の作製する浅いジャンクションの深さに見合っている。

本研究の目的は、高分解能高エネルギー X 線光電子分光 (HX-PES) による次世代 VLSI 半導体プロセス用極浅プラズマドーピング層(10 nm 以下)のキャリア濃度の非破壊評価方法を確立することである。現在に至るまでナノメートルスケールの浅いジャンクションの良い非破壊評価法は他には存在せず、この方法が確立すればさらに微細化が進められてゆく Si-LSI 開発に資するところ非常に大きい。

実験

実験はビームライン BL47XU で行った。実験に用いる光電子分光装置は既に SPring-8 で開発が進められている硬 X 線光電子分光用装置を利用した。BL47XU の 2 結晶分光器のあとにチャンネルカット後置分光器を挿入して 6 keV、8 keV もしくは 10 keV の励起 X 線を得る。光電子分光装置は放射線防御ハッチの中に設置されるので試料位置等は試料マニピュレーターをパルスモーターによってハッチ外部から調整した。試料は申請者の実験室で準備し 7x7mm² 程度の大きさに切って SPring-8 に持ち込んだ。

ボロン不純物を導入した極浅プラズマドーピングサンプル (導入深さ: 10 nm 以下) と上記プラズマドーピングサンプルをアニールして電氣的活性化

させたサンプルを測定した。

結果及び考察

図 1 に極浅プラズマドーピングサンプルのアニール前後の Si 1s スペクトルを示す。アニール後の活性化による結合エネルギーの変化を感度良く測定出来ることが分かる。Si 1s の結合エネルギーはキャリア濃度の変動によるフェルミ準位のバンドギャップ内でのシフトに従って変化する。従って、ドーパされた層の中のキャリア濃度を HX-PES 測定によって感度良く評価出来ることが分かった。この方法は、従来のシート抵抗測定や SIMS による不純物の深さ分布の測定などでは得られない極浅プラズマドーピング層の物理的性質を原子レベルで評価する新しい手法として期待できる。

今後の課題

プラズマドーピングのみでアニールなしのサンプルにおいても、プラズマドーピング条件によって結合エネルギーが変化する結果が得られた。このサンプルのシート抵抗は非常に高く、導入された不純物は活性化されてないと判断出来る。キャリアが活性化されていないときに結合エネルギーが変化する原因を究明する必要がある。

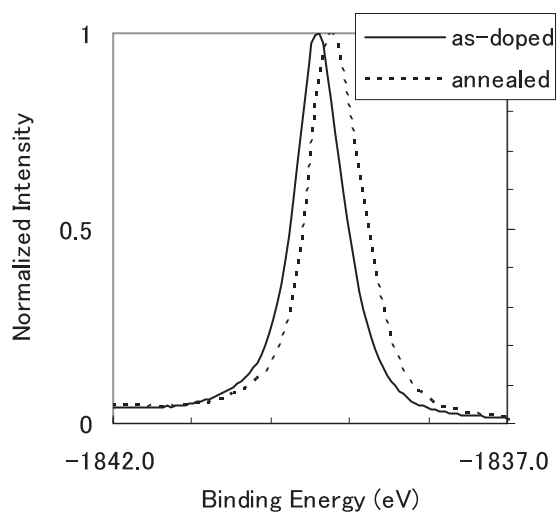


Fig. 1 Si 1s spectra measured for as-doped and annealed samples. These spectra are normalized to the substrate peak.

参考文献

- [1] A. Hori and B. Mizuno, *Tech. Dig. of IEDM*, (1999) p.641.
- [2] C.G. Jin, Y. Sasaki, K. Tsutsui, H. Tamura, B. Mizuno, R. Higaki, T. Satoh, K. Majima, H. Sauddin, K. Takagi, S. Ohmi, and H. Iwai, *International Workshop on Junction Technology* (2004), 102.
- [3] Y. Sasaki, C. G. Jin, H. Tamura, B. Mizuno, R. Higaki, T. Satoh, K. Majima, H. Sauddin, K. Takagi, S. Ohmi, K. Tsutsui and H. Iwai, *Symp. On VLSI Tech.* (2004), 180.
- [4] K. Kobayashi, M. Yabashi, Y. Takata, T. Tokushima, S. Shin, K. Tamasaku, D. Miwa, T. Ishikawa, H. Nohira, T. Hattori, Y. Sugita, O. Nakatsuka, A. Sakai and S. Zaima, *Appl. Phys. Lett.* 83 (2003) 1005

論文発表状況・特許状況

論文投稿と特許申請の予定

キーワード

硬 X 線光電子分光

プラズマドーピング

キャリア濃度