

実験責任者：金 成国、所属：株式会社 ユー・ジェー・ティー・ラボ

Hard-X 線光電子分光 (HX-PES) 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 (PD) 層の化学結合状態の研究

Hard X-ray Photoelectron spectroscopy (HX-PES) study on chemical binding states of ultra shallow plasma-doped silicon layer for the application of advanced ULSI devices

\*金 成国<sup>1</sup>, 佐々木 雄一郎<sup>1</sup>, 岡下 勝己<sup>1</sup>, 田村 秀貴<sup>1</sup>, 伊藤 裕之<sup>1</sup>, 水野 文二<sup>1</sup>, 奥村 智洋<sup>2</sup>,  
小島 雅明<sup>3</sup>, 金 正鎮<sup>3</sup>, 池永 英司<sup>3</sup>, 小林 啓介<sup>3</sup>

\* C.G. Jin<sup>1</sup>, Y. Sasaki<sup>1</sup>, K. Okashita<sup>1</sup>, H. Tamura<sup>1</sup>, H. Ito<sup>1</sup>, B. Mizuno<sup>1</sup>, T. Okumura<sup>2</sup>

M. Kobata<sup>3</sup>, J.J. Kim<sup>3</sup>, E. Ikenaga<sup>3</sup>, K. Kobayashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>株式会社 ユー・ジェー・ティー・ラボ, <sup>2</sup>松下電器産業株式会社, <sup>3</sup>高輝度光科学研究センター

<sup>1</sup>Ultimate Junction Technologies Inc., <sup>2</sup>Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., <sup>3</sup>JASRI/Spring-8

ボロン不純物を導入した極浅プラズマドーピング (PD) サンプルと上記 PD サンプルを spikeRTA アニールとフラッシュランプアニール (FLA) して電気的活性化させたサンプルの化学結合状態を大型放射光施設 SPring-8 の HX-PES (Si 1s) で測定した。PD サンプルは spikeRTA と FLA 後共に非常に良い化学結合状態、即ち高い不純物活性化と結晶回復を示した。HX-PES は PD 後とアニール後の化学結合状態の変化を精度良く測定でき、45nm テクノロジーノード以後の半導体の不純物導入と活性化プロセスの最適化に非常に有用である。

We measured HX-PES (Si 1s) of ultra shallow PD samples before and after spike RTA or FLA in SPring-8. PD showed excellent chemical binding states with high impurity activation and recrystallization after both spike RTA and FLA. HX-PES, which successfully measured the differences of chemical binding states during the doping and the annealing processes with high accuracy, was extremely useful for the optimizing of semiconductor doping process and thermal activation process for 45 nm technology node and beyond.

**背景と研究目的:** プラズマドーピングは高い生産性を持っているので、半導体産業 45nm テクノロジーノード以後の極浅ジャンクションの作成において、低エネルギーイオン注入の代替の最有力候補としてプロポーズされてきた。我々は高い光吸収特性を実現出来る He プラズマプレアモルファスをコンバインした新しいプラズマドーピング方法を開発し、レーザアニール或いはフラッシュランプアニール (FLA) を用い、シート抵抗とジャンクション急峻性において低エネルギーイオン注入を超える極浅ジャンクション性能を実現した[1-3]。SPring-8 の高エネルギー 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 (10nm 前後) に見合っている。本研究では、アニール前後の極浅 PD 層の HX-PES (Si 1s) を測定し、PD プロセスとアニールプロセスが化学結合状態に与える影響を調べた。

**実験:** n-型 8 インチ Si ウェハー (10 cm) を PD チャンバーに入れ、He で希釈された B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ガスを導入し、ヘリコン波プラズマを発生させ外部 DC バイアス電圧で Si ウェハーにドーピングした。表 1 に PD サンプルの条件を示す。spikeRTA のピーク温度は 950-1075 である。FLA 時の基板温度は 750 で、フロントサイドのピーク温度は 1163-1348

でアニール時間は 1 ms である。シート抵抗  $R_s$  は 4 探針プローブで測定した。PD サンプルのアニール条件は表 2 に示す。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 7936.7 eV の励起 X 線を得る。

**結果及び考察：** 図 1 に n-Si 基板と as-doped PD サンプルの Si 1s スペクトルを示す。PD サンプルの結合エネルギーは n-Si 基板より約 0.3 eV 低い。Si 1s の結合エネルギーの変動はキャリア濃度の変動によるバンドギャップ内でのフェルミ準位のシフトを意味するので、PD による結合エネルギーの変動の起因は、PD により生ずる欠陥がキャリアトラップを誘起しキャリア濃度を変化させたためである。PD サンプルと intrinsic Si のフェルミ準位が共に n-Si 基板 (10 cm) より 0.3 eV 低いので、PD 後基板の電子濃度は intrinsic Si レベルまで下がっているのが分かる。なお、PD 後スペクトルの半値幅は増加し、ピーク形状も低結合エネルギー領域で非対称的になった。PD によるピークの広がり、PD プロセスの高いドーズレートによるアモルファス化効果により、結晶の周期性が壊され結合長と結合角が変化したためである。PD によるピーク形状の非対称化は、B-Si クラスタと co-dope された水素と Si の結合に由来すると考えられる。図 2 に spikeRTA 前後の Si 1s スペクトルを示す。spikeRTA 後結合エネルギーは約 0.45 eV 低くなり (バンドギャップの半値=0.55 eV) 高いホール密度を示唆している。なお、spikeRTA 後スペクトルの半値幅もほぼ n-Si のレベルに戻り、ピークの非対称性も消えた。これらの結果は spikeRTA 後の PD サンプルの非常に良い化学結合状態、即ち高い不純物活性化率と結晶回復性、を示している。図 3 に

FLA 前後の Si 1s スペクトルを示す。FLA 後結合エネルギーは約 0.43 eV 低くなり、spikeRTA とほぼ同じホール密度を示唆している。なお、FLA 後ピークの非対称性も消えたが、スペクトルの半値幅は spikeRTA より若干広い。これは FLA と spikeRTA のアニール時間の差 (FLA/spikeRTA=1/1000) によるサーマルバースットの差を反映していると思われる。HX-PES は PD 後とアニール後の化学結合状態の変化を精度良く測定でき、45nm テクノロジーノード以後の半導体の不純物導入と活性化プロセスの最適化に非常に有用である。

### 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

1. International Workshop on Junction Technology (IWJT) 2006 に論文投稿
2. International conference on Ion Implantation Technology (IIT) 2006 に論文投稿

### 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

Table 1. The PD conditions of samples

Sample No.	PD condition				
	B2H6/He concentration	Vdc (V)	time (s)	depth (nm)	Dose (cm <sup>-2</sup> )
PD1	0.025%	60	14	7.0	5.0E+14
PD2	0.025%	60	30	7.0	1.0E+15
PD3	0.20%	60	30	7.0	2.0E+15
He-PA	He 100%	150	7	14.0	

Table 2. The annealing conditions of samples.

Sample No.	Annealing condition		
	method	peak temperature ( )	Rs (Ω/sq.)
PD3-RTA1	spike RTA	975	1345
PD3-RTA2		1025	686
PD3-RTA3		1075	369
PD3-FLA1	FLA	1163	1300
PD3-FLA2		1295	540
PD3-FLA3		1348	340

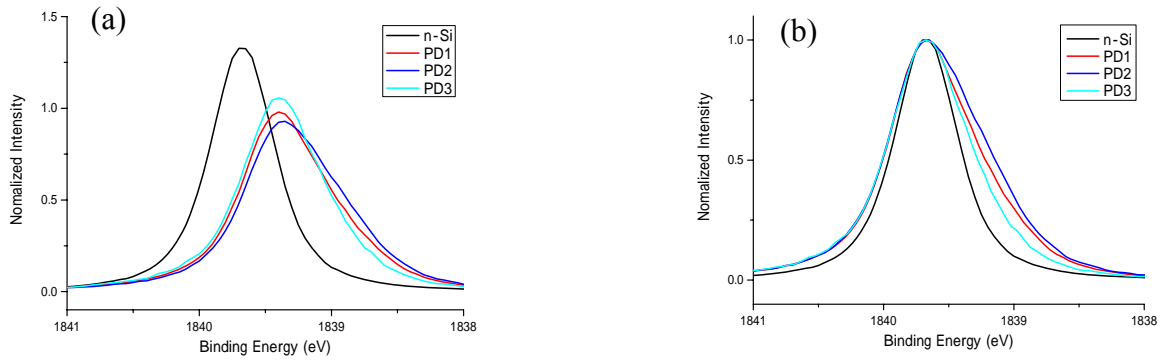


Fig. 1. Si 1s spectra of as-doped PD samples compared with that of n-Si substrate: (a) Area normalized ; (b) Peak position offset after peak intensity normalized.

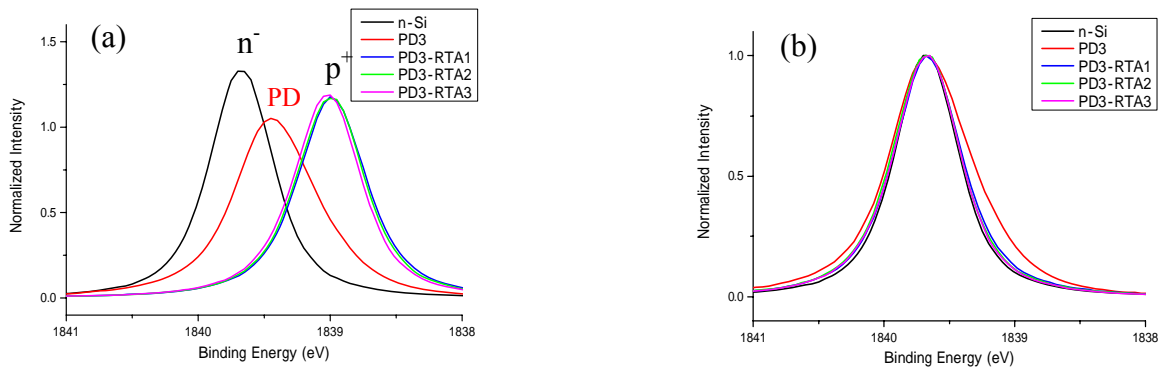


Fig. 2. Si 1s spectra of PD samples before and after spike RTA: (a) Area normalized ; (b) Peak position offset after peak intensity normalized.

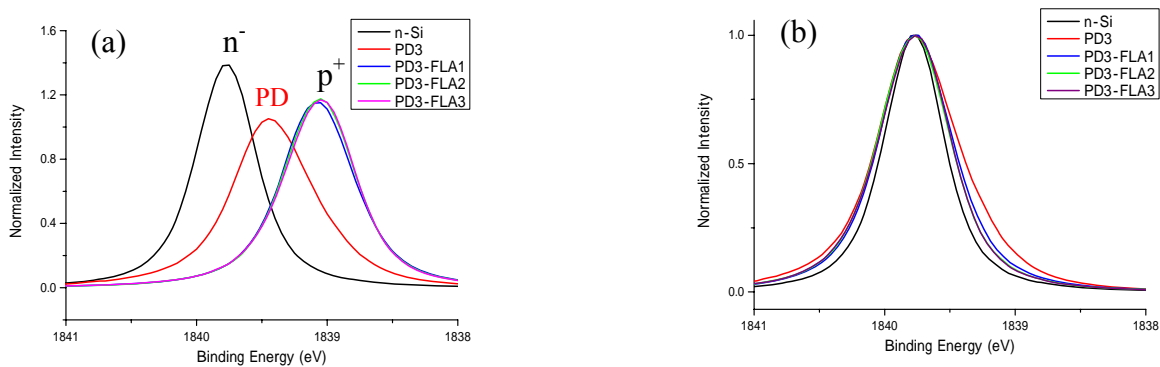


Fig. 3. Si 1s spectra of PD samples before and after FLA: (a) Area normalized ; (b) Peak position offset after peak intensity normalized.

