

課題番号 : F-20-KT-0058  
利用形態 : 機器利用  
利用課題名(日本語) : 新規高性能半導体ウェハ接合技術の開発  
Program Title(English) : Development of novel high-performance semiconductor wafer bonding technologies  
利用者名(日本語) : 西ヶ谷紘佑, 田辺克明  
Username(English) : K. Nishigaya<sup>1)</sup>, K. Tanabe<sup>1,2)</sup>  
所属名(日本語) : 1) 京都大学大学院工学研究科, 2) 京都大学工学部工業化学科  
Affiliation(English) : 1) Graduate school of Eng., Kyoto Univ., 2) Department of Industrial Chemistry, School of Eng., Kyoto Univ.  
キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積、熱処理、表面処理、半導体接合、太陽電池、エネルギー関連技術

## 1. 概要(Summary)

半導体ウェハ接合は、低結晶欠陥密度の格子不整合ヘテロ構造形成法であり、高性能な電子・光デバイスの作製を可能にする[1,2]。グラフェン量子ドット(GQD)は安価で豊富な資源である炭素由来の量子ドットであり、他の半導体量子ドットと同様に、サイズに応じた電氣的・光学的特性を示すことが知られている。その光学的特性として、波長変換特性があげられ、長波長の光をより短い波長へと変換するアップコンバージョンも起こることが一部では報告されている。本研究ではGQDを波長変換材料として半導体接合界面に導入し、半導体接合の形成と同時に、接合界面に光学的特性を付与することを試みた。例えば、多接合太陽電池の場合、接合界面でアップコンバージョンを行うことで、発電に寄与しない長波長の光も発電に利用することが可能になり、効率向上に繋がることが期待される。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

電子線蒸着装置、真空蒸着装置 2、赤外透過評価検査/非接触厚み測定機、走査型プローブ顕微鏡システム

### 【実験方法】

自機関にて、1 cm 角程度のサイズに切り出した *p* 型単結晶 Si ウェハに対し種々の化学的表面処理、および、接合界面媒介材の塗布を施した。2 枚のウェハを重ね合わせた状態で 0.1 MPaG の圧力をかけながら 300°C で 3 時間加熱し接合した。全工程を粒子密度 500 万 m<sup>-3</sup> 程度の一般的な実験室にて行った。

ナノハブにて、試料の両面に、電流-電圧測定用の電極

として、Au-Ge-Ni 合金(80:10:10 wt%)を厚み 30 nm とそれに続く Au を 150 nm 蒸着した。また、走査型プローブ顕微鏡による表面の観察・評価、および、赤外線透過観察による接合界面の評価を行った。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

GQD 分散液のみでの接合では、フッ酸処理あり、かつスピコートなしの試料についてのみ室温、100, 200, 300, 400, 500 °C で、それ以外の試料では室温と 300 °C で接合した。引き剥がし試験により、試料の接合強度を測定した。室温での接合強度は、そのほとんどが接合形成されていないか、あるいは計測不能なほど弱いものであった。すべての条件で共通して、加熱温度の上昇に伴い接合強度が増加する傾向が確認された。フッ酸処理を行った場合については 300 °C 以上での接合であればデバイス応用上十分な強度を有しているといえる。電流-電圧測定から界面における抵抗値を算出した。フッ酸処理を行った場合では、伝導性には極小となる点が存在することがわかった。伝導性に関しては、1 Ω cm<sup>2</sup> 以下の抵抗値を得ており、太陽電池の性能を損なわないような、実用上十分な伝導性を有しているといえる。また最適点が存在する理由については、低温での接合時にはそもそも接合形成がされないこと、逆に高温では接合界面に存在する GQD の酸化や Si 自身の酸化することによるものであると考えられる。また、フッ酸処理により結果のばらつきが小さくなっており再現性の向上が確認された。

ハイドロジェルを用いた接合では、接合強度について、フッ酸処理なし、スピコートありの一部に例外は認められたが、ほとんどの結果はポリアクリルアミド(PAM)濃度、フッ酸処理、スピコートの有無による接合強度への影

響は小さいといえる。電流-電圧測定から算出した界面抵抗値については、GQD 分散液のみでの接合の場合と同様に、フッ酸処理を行った試料では、抵抗値が小さく、また比較的ばらつきの小さい結果となった。一方でスピコートの有無、PAM の濃度による伝導性への影響ははっきりと確認することはできなかった。カバーガラスで作製した光学測定用試料において、ハイドロジェルを用いた場合では、試料乾燥後も GQD の光学的特性は失われなかった。励起光として 375 nm にピークを持つ UV ライトを用い、分光光度計によって PAM によって導入された GQD の光学特性を測定したところ、450, 500 nm にピークを持つ発光が観測され、波長変換機能が確認された。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

・参考文献

[1] K. Tanabe *et al.*, Appl. Phys. Lett. **89** (2006) 102106.

[2] F. Dimroth *et al.*, Prog. Photovolt. **22** (2014) 277.

・関連文献

K. Kishibe and K. Tanabe, Appl. Phys. Lett. **115** (2019) 081601.

K. Kishibe, K. Tanabe *et al.*, Nanomater. **9** (2019) 1742.

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) K. Nishigaya, K. Tanabe *et al.*, C – J. Carbon Res. **6** (2020) 28.

(2) S. Ishihara and K. Tanabe, Nano Express **1** (2020) 010063.

(3) K. Nishigaya, K. Tanabe *et al.*, 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 26, Calgary, 2020.

#### 6. 関連特許 (Patent)

(1) 田辺克明, 石原翔治, “微細シリコンデバイスのセルフアッセンブリ方法”, 特願 2020-088292, 2020 年 5 月 20 日.