

課題番号 : F-19-KT-0051  
利用形態 : 機器利用、技術補助  
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) : 岸部航大<sup>1)</sup>、田辺克明<sup>1,2)</sup>  
Username(English) : K. Kishibe<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、極めて高性能な電子・光デバイスの作製を可能にする[1,2]。本研究では、多岐に亘る新規高機能ウェハ接合技術の提案および実験的実証を行った。例えば、世界に先駆け、半導体界面に接着性と柔軟性に富むハイドロジェルを導入することで、微粒子や表面の粗さといった接合阻害要因を緩和し、かつ高い光透過性と導電性を有する接合を実現した。さらに、ハイドロジェルに波長変換材料を担持することによって接合形成と光学的機能発現を同時に生み出す接合技術の開発を行った。また、液相より合成する透明導電材料を介した半導体接合も実現した。これらの新しい接合界面の特性として、高い接合強度、導電性、透光性、表面粗さ許容度を同時に達成しており、デバイスの高性能化につながる。

## 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、赤外透過評価装置、走査型プローブ顕微鏡

### 【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 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)

ハイドロジェルを介した接合について、代表的なハイドロジェルであるポリアクリルアミド、ポリビニルアルコール、アガロースの 3 種類について実験・評価を行った。条件の検討を経て、高い機械的接合強度、導電性、光透過性、また、接合形成の際の表面ラフネス許容度を得た。さらに、本手法によって、太陽電池と Si ウェハを接合 (太陽電池/Si ウェハ) し、太陽電池単体との性能比較を行った。下層の Si ウェハには発電能力はなくバルク抵抗も無視小であるため、これらの比較によって、接合によって生じた界面抵抗による発電効率の損失を見積もることができる。光 *I-V* 特性測定における太陽電池/Si ウェハと太陽電池単体との発電効率の比較から、ハイドロジェルを半導体界面に導入することで生じるロス を 1 割未満に抑えることができ、多接合太陽電池応用への有用性が示された。

ZnO を介した接合については、界面特性として、高い接合強度、導電性、透光性、表面粗さ許容度を同時に達成した。これまでの半導体接合方法として、直接接合、酸化物、金属、ポリマー材料を介した接合が存在していたが、これらの特性全てを満たすものではなく、初めてとなる高性能な半導体接合技術を生み出したと言える。また、採用した透明導電材料は酸化亜鉛であり、従来多く用いられてきた酸化インジウム等と比較して、コスト、元素埋蔵量、環境負荷といった点で有利である。加えて、この接合手法においては、接合の形成と同時に酸化亜鉛が合成されるという効率的なプロセスとなっており、デバイス生産における低コスト・高スループット化につながる。さらに、

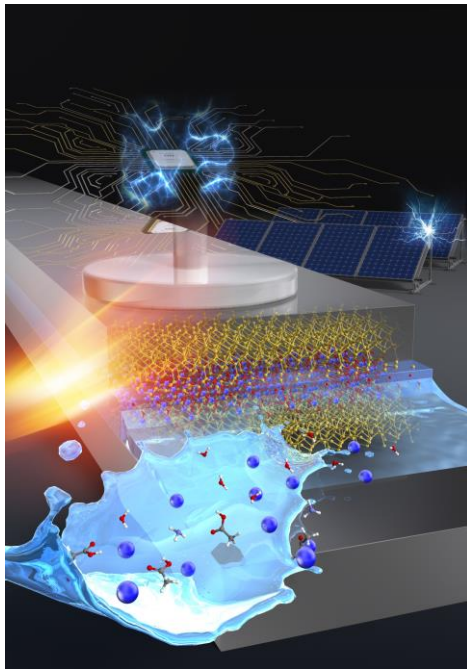


Fig. 1 Front-cover image of the October 2019 issue of *Advanced Materials Interfaces*, featuring our solution-processed-ZnO-mediated bonding.

開発した接合技術を用いた太陽電池デバイスの作製および駆動にも成功し、参照実験を通して本接合界面によるデバイス性能のロスが無視できるほど小さいことを実証した。このデモンストレーションにより、開発した新規接合技術の応用への妥当性が示され、本技術は今後、多様な高性能光・電子デバイスの低コスト生産につながるものと期待される。

#### 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

T. Naito and K. Tanabe, *Nanomater.* **8** (2018) 1048.

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

(1) R. Inoue and K. Tanabe, *Appl. Phys. Lett.* **114** (2019) 191101.

(2) R. Inoue, N. Takehara, T. Naito, and K. Tanabe, *ACS Appl. Electron. Mater.* **1** (2019) 936.

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

(4) T. Yamashita, S. Hirata, R. Inoue, K. Kishibe, and K. Tanabe, *Adv. Mater. Interfaces* **6** (2019) 1900921 (Selected as the front cover).

(5) 岸部航大, 平田桑一郎, 田辺克明, 第66回応用物理学会春季学術講演会, 11p-W321-7, 東京, 2019.

(6) 岸部航大, 田辺克明, 第66回応用物理学会春季学術講演会, 11p-W321-8, 東京, 2019.

(7) 井上諒一, 田辺克明, 第66回応用物理学会春季学術講演会, 11p-W321-9, 東京, 2019.

(8) 井上諒一, 竹原凧人, 田辺克明, 第66回応用物理学会春季学術講演会, 11p-W321-10, 東京, 2019.

(9) 山下達之, 平田桑一郎, 岸部航大, 井上諒一, 田辺克明, 第66回応用物理学会春季学術講演会, 11p-W321-11, 東京, 2019.

(10) T. Yamashita, S. Hirata, R. Inoue, K. Kishibe, and K. Tanabe, 46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 206, Chicago, 2019.

(11) R. Inoue and K. Tanabe, 46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 289, Chicago, 2019.

(12) K. Kishibe, S. Hirata, R. Inoue, T. Yamashita, and K. Tanabe, 46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 292, Chicago, 2019.

(13) K. Kishibe and K. Tanabe, 46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 636, Chicago, 2019 (Picked in conference highlights).

(14) K. Tanabe, 9th Collaborative Conference on Materials Research (CCMR), We-210A-9, Seoul, 2019 (Invited).

#### 6. 関連特許 (Patent)

(1) 田辺克明, 岸部航大, 平田桑一郎, “半導体構造物、多接合太陽電池及び半導体構造物の製造方法”, 特願 2019-027609, 平成 31 年 2 月 19 日.