

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23360163

研究課題名(和文)高温で安定な太陽電池開発の研究

研究課題名(英文)Development of solar cells with high stability at elevated temperatures

研究代表者

堀越 佳治(Horikoshi, Yoshiji)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：60287985

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円

研究成果の概要(和文)：太陽電池の重要な問題点のひとつは温度上昇による特性劣化である。温度上昇によりバンドギャップが減少しVocが低下することが原因である。半導体超格子では量子効果と励起子吸収によりこの傾向が緩和されると考え、AlGaAs/GaAs超格子を用いてこれを実証した。最適化されたAlGaAs/GaAs超格子太陽電池では、100℃という高温においてもVocと $dVoc/dT$ の減少は少なく、特に $dVoc/dT$ は0.22%/deg. が得られた。これは報告されている太陽電池の中で最も低い値である。さらに超格子構造では、励起子吸収の効果が顕著になり、等価な構造を持つGaAsバルク太陽電池よりも高い効率が得られた。

研究成果の概要(英文)：One of the most serious problems of solar cells is the degradation of solar cell efficiency() at elevated temperatures. This effect is probably caused by the bandgap(E_g) shrinkage at elevated temperatures. The shrinkage of E_g decreases Voc, and as a result, lowers $dVoc/dT$. In semiconductor superlattices(SLs), effective E_g includes an increment by quantum confinement effect which is rather temperature insensitive. Therefore, temperature stable solar cells could be achieved by using SL absorption layers.

We have fabricated AlGaAs/GaAs SL solar cells by using an optimized SL structure grown by MBE. Both Voc and $dVoc/dT$ are found to be more temperature-stable compared with GaAs bulk solar cells with an equivalent solar cell structure. Even at 100℃, $dVoc/dT$ is as low as 0.22%/deg which is the lowest ever reported. In addition, in SL solar cells, the excitonic absorption is found to be operative even at elevated temperatures which lead to the higher efficiency compared to bulk solar cells.

研究分野：半導体結晶成長、半導体デバイス

キーワード：太陽電池 温度安定性 励起子吸収効果 分子線エピタキシー 超格子太陽電池 AlGaAs/GaAs超格子 Si/SiO₂超格子 スパッタリング

1. 研究開始当初の背景

太陽電池の最も一般的な構成は半導体 pn 接合を用いるものである。単一の半導体 pn 接合によって構成される太陽電池の効率は、1 sun の条件下では半導体の吸収特性や量子効果により、原理的に 32%程度あることが知られている。この理想値に少しでも近づけるための研究が世界中で進められている。そのひとつとして集光型太陽電池の研究は、多接合型太陽電池を対象に活発な研究が行われており、40%を超える効率の報告もある。しかしこれらの結果は太陽電池を室温付近に保持した状態で測定されており、実際には集光型の太陽電池では太陽光照射時の接合温度は 100 以上に達する場合が多い。このため温度上昇による特性劣化は著しい。1 sun の照射においても接合温度は 70 に達することが知られており、これによる太陽電池の特性劣化が報告されている。この問題が解決できれば太陽電池の実効的な効率上昇を達成することができる。

2. 研究の目的

太陽電池の重要な問題点のひとつは温度上昇による特性劣化である。集光型の場合、接合温度の上昇は著しく、100 に達する場合もある。1 sun の場合でも 70 以上に達する場合が多い。温度上昇に伴う劣化要因はバンドギャップ E_g の減少による起電力の低下である。本研究では、温度上昇に伴う特性劣化の少ない太陽電池の開発をめざす。このためには、温度依存性の少ない E_g をもつ半導体材料を用いること、あるいは半導体超格子構造などを利用して実効的に温度依存性の少ない E_g を実現する、などの方法がある。しかしながら太陽光スペクトルに整合した E_g を持つ半導体ではその実現は困難である。そこで本研究では主に超格子構造を念頭に置き、 E_g の安定性と太陽電池特性に対する効果を検討する。超格子構造では励起子励起に伴う光吸収増感が期待されるため効率の増加も期待できる。

3. 研究の方法

超格子の E_g を $E_{g(SL)}$ 、母体となる半導体の E_g を $E_{g(S)}$ とすると、超格子の実効的な E_g は、 $E_{g(SL)} = E_{g(S)} + E_{(Q)}$ で表される。ここで $E_{(Q)}$ は超格子における量子効果によるエネルギー増分である。このうち $E_{g(S)}$ は温度上昇によって急激に減少するが $E_{(Q)}$ は井戸幅、バンド端不連続など超格子の幾何学的構造によって決定される量であるため、温度の上昇に対しほとんど変化しない。このため超格子太陽電池では起電力の減少を相対的に抑制することができる。加えて超格子構造では光吸収は励起子励起によって生じるため効率の上昇が期待できる。この研究は原理確認つまり、提案の妥当性を示すことが重要であるため、対象としてまず AlGaAs/GaAs 超格子を選んだ。その理由はこの材料系の物性が

良く知られていることによる。さらに精密な超格子設計が必要なため、分子線エピタキシー (MBE) 法を用いて試作検討を行う。この系の確認を経て、製作は困難だがさらに大きな効果が期待できる Si/SiO₂ 超格子の検討を行う。

4. 研究成果

(1) AlGaAs/GaAs 超格子太陽電池

AlGaAs/GaAs 超格子構造の最適化を図ることにより、通常の半導体によるバンド間吸収に加え、励起子吸収によって吸収係数そのものが増加することが確認された¹⁾。この光吸収は高温でも安定に生じ、温度上昇に伴う Voc の低下もバルク太陽電池に比較して十分小さいものであった。これは超格子構造により実効的な E_g の温度依存性が抑制されたためと考えられる。AlGaAs/GaAs 超格子太陽電池を実際に製作し、励起子吸収により確かに効率が上昇することを確認した。効果は 100 という高温でも顕著であり^{3,4)}、この事実は本研究の基本的な考えが有効であったことを示している。

表1 超格子とバルク太陽電池の特性

Solar cell	2 μm Solar cells		1 μm Solar cells	
	$V_{oc}(V)$	$\eta(\%)$	$V_{oc}(V)$	$\eta(\%)$
AlGaAs/GaAs SL	1.08	21	1.07	14.8
GaAs bulk	1.00	22	0.80	13.3

表1は AlGaAs/GaAs 超格子およびこれと等価なバルク GaAs を吸収層を持つ太陽電池特性を比較したものである。この表では吸収層厚 1 μm と 2 μm の比較となっている。2 μm の吸収層を持つ太陽電池では GaAs バルクであっても十分な光吸収が実現するため、超格子太陽電池との間に効率の差はほとんどない。一方 1 μm デバイスでは超格子太陽電池の効率の方が高い。この理由は 1 μm のバルクでは光吸収が不十分なため効率が大幅に落ちるが、超格子の場合薄膜化による吸収の低下が励起子吸収によって緩和されるためと考えられる。一方 Voc に関しては超格子では量子効果のためバルクに比べてやや高いが、注目すべき点は吸収層厚を 1 μm にしてもほとんど変化しないことである。これは超格子では 1 μm でも十分な光吸収が実現していることを示唆している。

表 超格子とバルク太陽電池の温度特性

	25°C		100°C		
Solar cell	$V_{oc}(V)$	$\eta(\%)$	$V_{oc}(V)$	$\eta(\%)$	$d\eta/dT(\%)$
AlGaAs/GaAs SL	1.08	20.5	0.93	16.8	0.22
GaAs bulk	1.00	19.6	0.885	11.8	0.28

表は AlGaAs/GaAs 超格子、バルク GaAs 太陽電池の Voc および効率を 25 および 100 で比較したものである。ともに 2 μm の吸収層を持つ太陽電池で比較した。温度の上

昇に伴って V_{oc} 、ともに減少するが、超格子太陽電池ではその減少はバルク GaAs に比べて著しく小さい。とくに V_{oc} の変化は小さくその結果効率の温度特性 $d\eta/dT$ は超格子太陽電池では $0.22\%/deg$ である⁴⁾。Si 太陽電池も含め最も低い値である。この事実は超格子構造によって V_{oc} の温度変化が緩和されたこと、および超格子の励起子吸収により吸収効率がバルクに比べて増加したことを示している。外部量子効率のスペクトル特性 (EQE) はこのことをより顕著に示している。図 1、図 2 は GaAs バルク太陽電池、AlGaAs/GaAs 超格子太陽電池における EQE スペクトルの温度依存性である。図 1 は $2\mu m$ の GaAs 吸収層を

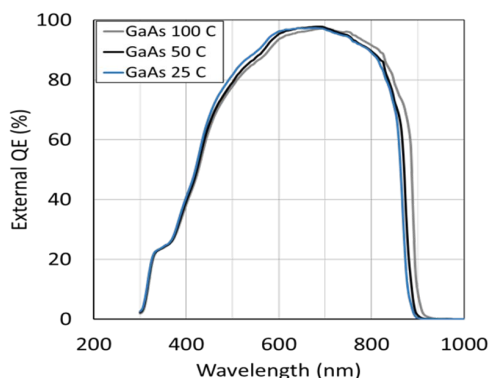


図 1 GaAs バルク太陽電池 EQE の特性

持つ太陽電池の EQE スペクトルを 25、50、100 で測定した結果で、長波長側の立ち上がりが温度の上昇とともに長波長側にシフトしていることがわかる。立ち上がりはややなだらかであるが、これは吸収端における結合状態密度の形を反映しているものと思われる。

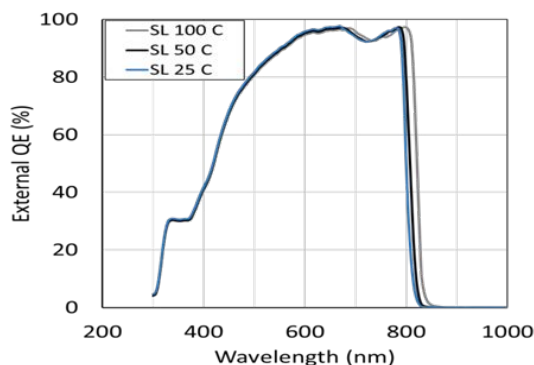


図 2 AlGaAs/GaAs 超格子太陽電池の EQE

図 2 は AlGaAs/GaAs 超格子太陽電池の EQE 特性を示したもので図 1 と比較して顕著な相違点は長波長の吸収端付近の急峻な立ち上がりである。これは励起子吸収の寄与によるものであるが、注目すべき点は 100 という高温でもその急峻性を失っていない点である。超格子構造においても励起子束縛エネルギーは高々 $6meV$ であり、この安定性は超格子井戸へのキャリアの閉じ込め効果によるものと考えられる。超格子におけるこのような高い効

率は励起子吸収が吸収端付近だけではなく、全スペクトル領域にわたって生じているためである。この様子は我々が試算した図 3 に示

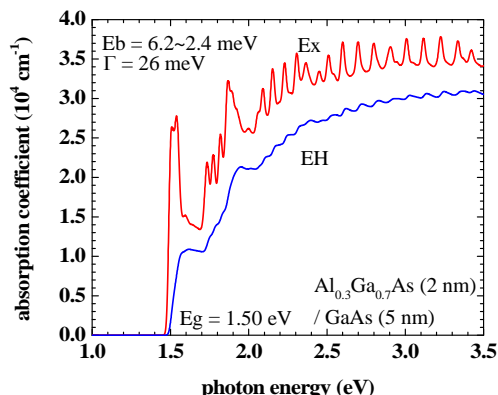


図 3 AlGaAs/GaAs 超格子の吸収ペクトル

す吸収スペクトルから明らかである²⁾。励起子吸収を考慮しない計算 (EH スペクトル) に比べ励起子吸収の効果は全スペクトル域にわたって顕著である。

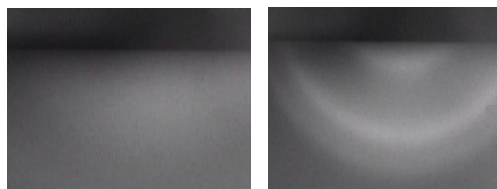
(2) Si/SiO₂ 超格子構造の試作

前記 AlGaAs/GaAs 超格子太陽電池に関わる研究に大半の時間を費やしたが、我々が提案の正当さが証明されたため、研究を Si/SiO₂ 超格子構造の研究にシフトした。前記の成果が最も生きる太陽電池は Si/SiO₂ 系超格子太陽電池と考えたからである。Si はもともと間接遷移材料のため吸収端付近の吸収係数は小さい。しかし Si/SiO₂ 超格子では、励起子吸収によりバンド端吸収は急峻に立ち上がり、太陽電池の厚さとしては数 μm で十分な光吸収が期待できることが理論検討により明らかになった。そこで MBE 成長およびスパッタリング法によって Si/SiO₂ 超格子を試作した。研究期間内に超格子へのドーピングが実現されず、太陽電池の試作までは到達しなかったが有望な超格子構造が得られた。

MBE 法による Si/SiO₂ 超格子製作

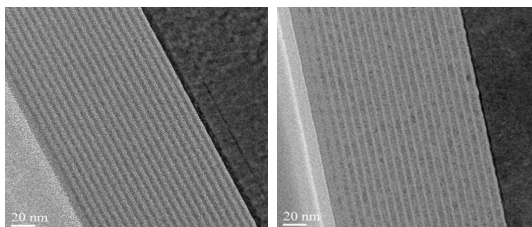
この系で太陽光スペクトルに整合する E_g を実現するためには、井戸層が単結晶 Si の場合井戸幅は $1.5nm$ 程度の薄膜に制御しなければならない。実際にはあとで述べるように Si 井戸層は微結晶を含むアモルファスになるので E_g は増加し、もう少し広い井戸幅が可能になる。しかし本研究では量子効果によるエネルギーの増加が大きい方が好ましく、このため井戸層幅は数 nm の薄い制御が不可欠である。このため本研究では MBE 法を用いた。1900 まで昇温可能な高温セルを用い、Si 源としては超高純度 Si、SiO₂ 源としては光通信用ガラスファイバー製造時の中間生成材料スートを用いた。である理由はその制御性良さを期待したからである。図 4(a) は Si 基板上に SiO₂ を $2nm$ 成長させた表面の RHEED パターンで、Si (001) 表面 (2x1) 単ドメ

インが SiO₂ 成長開始と共にハローパターンに変化し、アモルファス膜の成長を示した。さらに Si の成長を続けるとハローパターンは徐々に変化し、1nm 成長後には(b)図のようにブロードなリング状に変化した。超格子成長時はこのパターンが繰り返された。



(a) SiO₂(2nm)表面 (b) Si(1nm) 表面
図 4 Si/SiO₂ 超格子成長中の RHEED パターン

このようにして成長した Si/SiO₂ 超格子の透過電子顕微鏡 (TEM) 写真を図 5 に示す。暗く見える部分が Si である。3 インチウエハ全面にわたって均質な構造が得られた。しかし SiO₂ 層は材質としてはむしろ SiO に近く、MBE 成長の問題点が明らかになった。この問



(a) 成長結晶 (b) 熱処理後(1000)
図 5 Si/SiO₂ 超格子の TEM 写真

題は成長した超格子を熱処理することによりほぼ完全に解消できた。熱処理後の TEM 写真を (b) 図に示す。SiO₂ 層の厚さが減少し、Si 層の厚さが増加している様子が確認される。厚い SiO₂ 層に対する Ar 中の熱処理によっても SiO が SiO₂ に変化していることが明らかになった。

図 6 はスパッタリング法によって成長した Si/SiO₂ 超格子の吸収端エネルギーの Si 井戸幅依存性を示している。スパッタリング法では結晶に残留する欠陥に不安が残るものの、化学量論比の SiO₂ が得られる。超格子の形成により光吸収は吸収端付近で急峻に増

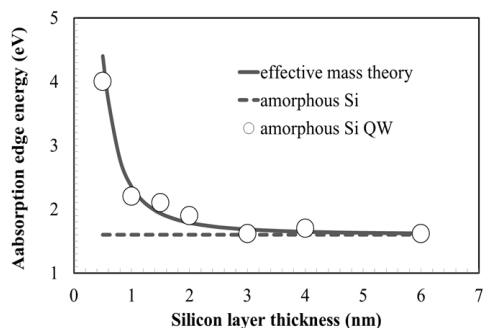


図 6 Si/SiO₂ 超格子の吸収端エネルギー (Si 井戸幅依存性)

加し⁵⁾、励起子吸収を示唆する結果が得られた。Si/SiO₂ 超格子太陽電池の研究はまだ中途段階にあり、今後ドーピング技術を完成させなければならない。しかし将来の高効率太陽電池開発に有効な技術の準備ができたと考えられる。

<引用文献>

- J. Nishinaga, A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, K. Ploog, and Y. Horikoshi, "Effect of excitons in AlGaAs/ GaAs superlattice solar cells" Jpn. J. Appl. Phys. 50, 052302 (2011) 10.1143/JJAP.50.052302
- A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, J. Nishinaga, and Y. Horikoshi, "Effect of excitons on the absorption in the solar-cell with AlGaAs/ GaAs superlattice grown by molecular beam epitaxy" J. Cryst. Growth 323, 504-507 (2011) 10.1016/j.jcrysgro.2010.12.051
- J. Nishinaga, A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, K. Ploog, and Y. Horikoshi "Excitonic absorption on AlGaAs/GaAs superlattice solar cells" Phys. Status Solidi C 9(2), 330-333 (2012) 10.1002/pssc.201100276
- J. Nishinaga, A. Kawaharazuka and Y. Horikoshi, "High absorption efficiency of AlGaAs/GaAs superlattice solar cells" to be published in Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015), accepted 9 Feb. 2015.
- T. Takeuchi, M. Kondo, M. Fujuta, A. Kawaharazuka, and Y. Horikoshi "Optical Properties of Amorphous and Nanostructure Si/SiO₂ Quantum Wells" J. Nano. Res. 26, 59-62 (2014), 10.4028 /www.scientific.net/JNanoR.26.59

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件、すべて査読有)

- M. Kuramoto, H. Urabe, T. Nakano, A. Kawaharazuka, J. Nishinaga, T. Makimoto and Y. Horikoshi, "Optical Properties of Al_xGa_{1-x}As/GaAs Superlattice Solar Cells" to be published in J. Crystal Growth (2015) 22770.
- H. Urabe, M. Kuramoto, T. Nakano, A. Kawaharazuka, T. Makimoto, Y. Horikoshi, "Effects of surface barrier layer in AlGaAs/ GaAs solar cells", to be published in J. Crystal Growth(2015) 22742.
- J. Nishinaga, A. Kawaharazuka and Y. Horikoshi, "High absorption efficiency of AlGaAs/GaAs superlattice solar cells", to be published in Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015), accepted 9 Feb. 2015. (Accepted)
- S. Thiru, M. Asakawa, K. Honda, A. Kawaharazuka, A. Tackeuchi, T. Makimoto and Y. Horikoshi, "Investigation of CuGaSe₂/CuInSe₂ double heterojunction interfaces grown by molecular beam epitaxy"

AIP Advances 5, 027120-1 (2015)

T. Takeuchi, M. Kondo, M. Fujita, A. Kawaharazuka, and Y. Horikoshi, "Optical Properties of Amorphous and Nanostructure Si/SiO₂ Quantum Wells"

J. Nano. Res. 26, 59-62 (2014)

10.4028/www.scientific.net/JNanoR.26.59

J. Nishinaga and Y. Horikoshi, "Crystalline and electrical characteristics of C₆₀ uniformly doped GaAs layers"

J. Cryst. Growth 378, 81-84 (2013)

10.1016/j.jcrysgro.2012.12.044

J. Nishinaga, A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, and Y. Horikoshi, "High Absorption Efficiency Superlattice Solar Cells by Excitons"

Jpn. J. Appl. Phys. 52, 112302 (2013)

10.7567/JJAP.52.112302

J. Nishinaga, A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, K. Ploog, and Y. Horikoshi, "Excitonic absorption on AlGaAs/GaAs superlattice solar cells"

Phys. Status Solidi C 9(2), 330-333 (2012)

10.1002/pssc.201100276J.

M. Fujita, T. Sato, T. Kitada, A. Kawaharazuka and Y. Horikoshi, "Successful growth of Cu₂Se-free CuGaSe₂ by Migration-Enhanced Epitaxy", J. Vacum. Sci. Tech. B. 30, 02B126 (2012) 10.1116/1.3690456

[学会発表](国内会議 9 件、国際会議 13 件計 22 件)

河原塚篤, 堀越佳治, "GaAs(111)B 面上の Ga の挙動"

第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、9 月 17 日-20 日、2014 年

河原塚篤, 西永慈郎, 堀越佳治, "太陽電池の特性値を用いた再結合電流の評価"

第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学、3 月 17 日-20 日、2014

河原塚篤, 堀越佳治, "X 電子伝導を用いた AlGaInSb 混晶太陽電池"

第 60 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、3 月 27 日-30 日、2013

西永慈郎, 堀越佳治, "フラーレン添加 GaAs pin ダイオードの電気的特性"

第 60 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、3 月 27 日-30 日、2013

西永慈郎, 堀越佳治, "フラーレン添加 GaAs 薄膜の結晶学的特性"

第 43 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学、9 月 5-7 日、2012

河原塚篤, 小野満恒二, 堀越佳治, "X 電子伝導を用いた Al_{0.52}In_{0.48}P/Ga_{0.51}In_{0.49}P 超格子太陽電池"

第 73 回応用物理学会学術講演会、愛媛・松山大学、9 月 11 日-9 月 14 日、2012

河原塚篤, "超格子エキシトン太陽電池"
日本結晶成長学会ナノ構造・エピタキシャル成長分科会シンポジウム、高効率ナノエピタキヤ

ル太陽電池の最先端、東京大学生産技術研究所、2012 年 4 月 26 日~27 日

河原塚篤, 西永慈郎, 堀越佳治, "AlGaAs/GaAs 超格子太陽電池の吸収効率の評価"

第 72 回応用物理学会学術講演会、31pH-12, 山形大学、8 月 29 日-9 月 2 日、2011

永慈郎, 河原塚篤, 小野満恒二, クラウス・ブローク, 堀越佳治, "励起子吸収を利用した AlGaAs / GaAs 超格子太陽電池"

第 72 回応用物理学会学術講演会、31pH-11, 山形大学、8 月 29 日-9 月 2 日、2011

国際会議 (13 件)

A. Kawaharazuka, J. Nishinaga, and Y. Horikoshi, "Recombination Current in AlGaAs/GaAs Superlattice Solar-cells Grown by Molecular Beam Epitaxy"

18th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Flagstaff, Arizona, Sep. 7-12, 2014

M. Kuramoto, H. Urabe, T. Nakano, A. Kawaharazuka, J. Nishinaga, T. Makimoto, and Y. Horikoshi, "Optical Properties of Al_xGa_{1-x}As/GaAs Superlattice Solar Cells"

18th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Flagstaff, Arizona, Sep. 7-12, 2014

H. Urabe, M. Kuramoto, T. Nakano, A. Kawaharazuka, T. Makimoto, and Y. Horikoshi, "Effects of surface barrier layer in AlGaAs/GaAs solar cells"

18th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Flagstaff, Arizona, Sep. 7-12, 2014

M. Fujita, T. Kitada, M. Kondoh, A. Kawaharazuka, Y. Horikoshi, "Si/SiO_x Superlattice Growth by Molecular Beam Epitaxy"

30th North American Molecular Beam Epitaxy Conference, Banff, Canada, Oct. 5-11, 2013

J. Nishinaga, A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, K. Ploog, and Y. Horikoshi, "Excitonic absorption on AlGaAs/GaAs superlattice solar cells"

40th International Symposium on Compound Semiconductors, Kobe, Japan, May 19-23, 2013

Y. Horikoshi, J. Nishinaga, A. Kawaharazuka, K. H. Ploog, K. Onomitsu, and M. Fujita, "Effect of excitonic absorption on the efficiency of AlGaAs/GaAs solar cells"

2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto, Japan, Sep. 16-20, 2013

J. Nishinaga, "Electronic band structures of fullerene/GaAs heterointerfaces and their applications"

2013 Energy Materials Nanotechnology Meeting, Houston, USA, January 7-10, 2013

J. Nishinaga, "Electrical properties of fullerene doped GaAs pin diodes grown by MBE"

Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG), Cancun, Mexico, Jun. 10-13, 2013

J. Nishinaga, "Electronic band structures of

fullerene/GaAs heterointerfaces and their applications”

2013 Energy Materials Nanotechnology Meeting, Houston, USA, January 7-10, 2013

J. Nishinaga, “Electrical properties of fullerene doped GaAs pin diodes grown by MBE”

Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG), Cancun, Mexico, Jun. 10-13, 2013

J. Nishinaga, “Crystal growth and structural characteristics of fullerene / GaAs interfaces”

Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG), Orlando, USA, December 11-14, 2012

A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, and Y. Horikoshi, “GaAs/AlAs Superlattice Solar-Cell with X-Electron Conduction”

39th International Symposium on Compound Semiconductors, Santa Barbara, CA, USA, August 27-30, 2012

A. Kawaharazuka, M. Fujita, and Y. Horikoshi, “Absorption efficiency of CuGaSe₂/CuInSe₂ superlattice”

The 17th international conference on molecular beam epitaxy, Nara, Japan, 23-28 Sept., 2012

〔図書〕(計 3 件)

J. Nishinaga and Y. Horikoshi, “Growth and characterization of fullerene/GaAs interfaces and C₆₀ doped GaAs layers”

Crystal Growth: Theory, Mechanism, and Morphology, Chap. 7, Nova Science Publishers, 2012

河原塚篤、堀越佳治, “AlGaAs/GaAs 超格子構造太陽電池の開発”

高効率太陽電池、第一章六節、株式会社 NTS、2012 年

Yoshiji Horikoshi, “Migration-enhanced epitaxy for low-dimensional structures”

Molecular Beam Epitaxy, pp. 113-120, Elsevier, Dec. 2012

〔産業財産権〕

出願状況 (計 3 件)

名称: CGS/CIS 超格子太陽電池

発明者: 小野満恒二、山口浩司、河原塚篤、藤田実樹、西永慈郎、堀越佳治

権利者: 早稲田大学、日本電信電話

種類: 特許出願

番号: 特願 2013 - 061464

出願年月日: 2013 年 3 月 25 日

国内外の別: 内

名称: 太陽電池

発明者: 小野満恒二、山口浩司、河原塚篤、藤田実樹、西永慈郎、堀越佳治

権利者: 早稲田大学、日本電信電話

種類: 特許出願

番号: 特願 2013 - 054639

出願年月日: 2013 年 3 月 18 日

国内外の別: 内

名称: 太陽電池

発明者: 堀越佳治、河原塚篤、小野満恒二、山口

浩司

権利者: 早稲田大学、日本電信電話

種類: 特許出願

番号: 特願 2012 - 166626

出願年月日: 2012 年 7 月 27 日

国内外の別: 内

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀越 佳治 (HORIKOSHI Yoshiji)

早稲田大学 理工学術院・教授

研究者番号: 60287985

(3) 連携研究者

河原塚 篤 (KAWAHARAZUKA Atsushi)

早稲田大学 理工学術院・准教授

研究者番号: 40329082

藤田 実樹 (FUJITA Miki)

早稲田大学 理工学術院・次席研究員

研究者番号: 60386729

西永 慈郎 (NISHINAGA Jiro)

早稲田大学 理工学術院・准教授

研究者番号: 90454058