研究最前線

理 環境配慮型「グリーンデバイス」で循環型・低炭素社会の実現に貢献する!

理工学部　勝俣　裕

Hiroshi Katsumata

理工学部電気電子生命学科准教授
半導体デバイス・プロセス工学

1969年　神奈川県生まれ
1992年　明治大学工学部電気工学科卒業
1997年　明治大学大学院理工学研究科
　　博士後期課程修了、博士(工学)
1997年～2000年
　　京都大学工学部付属イオン工学実験施設講師(研究機関研究員)
2000年～2010年
　　株式会社東芝生産技術センター
　　プロセス研究センター勤務
2010年～
　　現職

【主な論文】
"Fabrication of Heterostructure p-β-$Fe_{0.95}Mn_{0.05}Si_2$/n-Si Diodes by Fe^+ and Mn^+ Co-implantation in Si (100) Substrates" Thin Solid Films, 381, 244-250 (2001).
"The effect of Crystalline Structure on Photoluminescence of the β- FeSi2 Film Prepared by Pulsed Laser Deposition Using Two Types of Target" Physics Procedia, 11, 158-162 (2011).

【主な所属学会】
応用物理学会、Materials Research Society、電気化学会、日本希土類学会

グリーンデバイス(Greendevice)とは

グリーンデバイスの「green」の意味には、緑色の・新鮮な等の他に「環境を維持(保護)する」という意味が含まれています。「創エネ」「省エネ」「畜エネ」など環境維持に役立つデバイス・技術を総称してグリーンデバイスと呼びます。例えば、エネルギーを創出する太陽電池や熱電素子、省エネに貢献するLED (Light Emitting Diode)や有機EL (Electroluminescence)照明、電気を蓄えるリチウムイオン充電池、さらにはそれらを製造する装置・プロセス技術などが、グリーンデバイス・技術の範疇に含まれます。

循環型・低炭素社会

1986年のチェルノブイリ原発事故以降、数年間、原発は「冬の時代」を迎えました。しかし、1990年代初頭から地球温暖化が問題視され始め、その結果、発電時に二酸化炭素などの温室効果ガスを排出しない原子力発電こそが、「clean」なエネルギーであるとして、再度、推進されてきました。そして、今年の福島原発の災害により、原発は再び「冬の時代」を迎えると予想され、電力の安定供給が危惧されております。電力需要の大半を占めるのはモータをはじめとした動力であり、次に照明です。電力不足の解消には、グリーンデバイスの活用が不可欠であり、省エネのためのパワー半導体やLED照明、創エネのための太陽電池等が家電・自動車・社会インフラ等に導入されています。今後は、再生可能な新エネルギー（太陽光・太陽熱・水力・風力・バイオマスなど）や未利用エネルギー（排熱、振動など）を効率的に活用するためのグリーンデバイス・技術の開発が必要であり、エネルギー資源を再生・循環させることにより、二酸化炭素の放出を抑制した低炭素社会の実現が望まれます。

環境配慮型半導体

グリーンデバイスには、「創エネ」「省エネ」「畜エネ」の効果だけでなく、現在の環境汚染問題や将来の資源の枯渇問題に対処するために「環境配慮型半導体」材料を用いることが重要です。環境配慮型半導体とは、地球上に豊富に存在し、生体・環境に対する毒性が軽微な材料より構成される半導体材料のことです。当オプトバイオエレクトロニクス研究室では、シリコン、ガリウム、アルミニウム、鉄ならびに大気中に存在する窒素、酸素等の元素からなる環境配慮型半導体の材料・プロセス技術の開発に取り組んでおります。例えば、ベータ鉄シリサイド(太陽電池・熱電素子)やナノ結晶シリコン・窒化アルミニウム・窒化ガリウム等(LED)などです(図1)。真空中で鉄をシリコン基板上に電子線加熱蒸着することにより作製したベータ鉄シリサイド薄膜の光学的・構造的特性を図2に示します。20時間の熱処理後、ベータ鉄シリサイド薄膜の結晶性が改善し、1.5μm帯の発光強度が増大することが分かります。シリコン基板の上に良質なベータ鉄シリサイド薄膜を積層することにより、シリコン太陽電池の効率向上が期待できます。次に、シリコン酸化膜の中に粒径10nm以下のシリコンナノ結晶をスパッタリング法により形成した試料の電子線回折パターンとシリコンナノ結晶を純水中に抽出した溶液試料からの発光観測例を図3に示します。可視領域で光らないシリコンをナノ結晶化することにより青緑色で発光させることができます。このように資源が豊富で生態環境への毒性が軽微なシリコンを原材料として、低コストで環境に優しいプロセスを用いて、シリコン可視発光素子が形成できます。

グリーンデバイスは、個々のデバイスや素材を改善することで、電気製品に環境維持に役立つ機能を積極的に付与してきた日本の技術の強みが活かせる分野です。今後、グリーンデバイスは、地球環境という観点からだけでなく、農業や自動車産業への応用などを含め、今後の世界経済を牽引していく産業分野として期待できます。

環境配慮型半導体

◆原料	地殻，大気に豊富に存在
◆廃棄	地面に捨てれる
◆安全性	生体環境に適合

環境半導体材料	$FeSi_2$, ナノ結晶Si, GaN, AlN
光学遷移	直接
バンドギャップ	0.85～6.2eV
デバイス応用	太陽電池、熱電素子、発光素子など
Keyテクノロジー	材料合成法
環境への負荷	非常に小さい
資源寿命	100～10000年

元素	資源寿命(年) @AD2000
Si	10000
Ga	2000
Al	145
Fe	126
Ge	50
Zn	19
Cu	28
As	23
In	22

図1　環境配慮型半導体材料とそれらを構成する元素の資源寿命

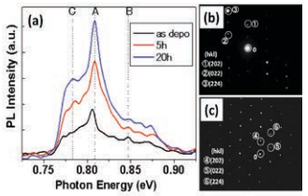

図2　β-FeSi2薄膜の(a) PL発光スペクトルの熱処理時間依存性(測定温度25K)、(b)電子線回折像(as-depo)、(c)電子線回折像(20時間熱処理後)。(a)において、Aバンドはβ-FeSi2薄膜固有の発光、Bバンドは積層欠陥からの発光、Cバンドはβ-FeSi2の不純物準位に起因する発光である。

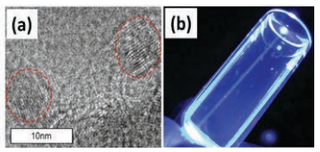

図3　(a) SiO2膜中に埋め込まれたナノ結晶Si粒子の透過電子顕微鏡(TEM)像。ナノ結晶Si粒子の形成を示す格子縞が観測された。(b)純水溶液中に抽出したナノ結晶Si粒子からの青緑色発光。He-Cdレーザー（325nm）により光路に存在するナノ結晶Si粒子が励起され、青緑色に光る様子を示す。