

P 添加 Si ナノ結晶の赤外励起オージェ電子放出と発光特性への影響

IR excited Auger electron emission from P-doped Si nano-crystals and its effects to luminescence properties

物材機構¹, Univ. Manchester², McMaster Univ.³, Univ. Surrey⁴ ○石井 真史¹, Iain Crowe², Matthew Halsall², Andrew Knights³, Russell Gwilliam⁴, Bruce Hamilton²
 NIMS¹, Univ. Manchester², McMaster Univ.³, Univ. Surrey⁴ ○M. Ishii¹, I. Crowe², M. Halsall², A. Knights³, R. Gwilliam⁴, B. Hamilton²
 E-mail: ISHII.Masashi@nims.go.jp

【序】 Si ナノ結晶は、そのサイズによってバンドギャップを制御でき、かつ閉込電荷を効率よく再結合できることから、発光デバイスへの応用が期待できる。一方で、電荷の輸送を考えると、P など不純物を添加して伝導度を制御する必要がある。こうした不純物添加は、Si ナノ結晶の物性を大きく変え、以下に示す通り発光特性に不利に働くことさえある。その詳細を知り、光・電子デバイスへの応用に適した不純物添加の指針を得る事が、本研究の目的である。

【実験】 試料は熱酸化 SiO₂ 膜に Si および P をイオン注入し (Si: 8×10^{16} at/cm², P: 5×10^{15} at/cm²)、1050°C のアニールによってナノ結晶を凝集形成した[1]。ここでアニール時間 (t_a) を長くするとナノ結晶のサイズは大きくなり、制御可能であるが、本研究で注目したのは、その際の P の熱活性の進み方である。これをピコアンメータ (Keithley, 6485) とベクトルインピーダンスアナライザ (Wayne Kerr, 6440B) を使って分析した。特に、フォトルミネッセンスとの相関を明らかにするために、波長 843 nm の赤外光 (IR) を照射し、その時の光電流とインピーダンスの挙動調べた。

【結果】 図 1 に IR の ON/OFF によって流れる光電流を測定した結果を示す。時間 0 s の IR 照射

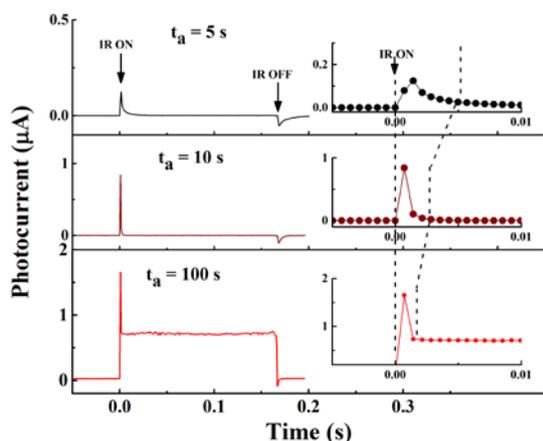


図 1 DC 電流による光電流の検出

開始と共にスパイク状の光電流が現れる。これは、Si ナノ結晶の赤外励起後の電荷再結合に伴うオージェ電子の放出と考えられる。 $t_a = 100$ s では定常的な光電流が観測されるが、これは多量のオージェ電子が放出され、DC 電流として電極に到達した事を意味している。 $t_a < 100$ s の電極に到達しない局所的なオージェ電子放出も議論するために、ベクトルインピーダンスアナライザを使って AC を使った測定を試みた。図 2 の挿入図に示すとおり、 $\omega \sim 100$ rad 程度の AC を使えば、精度よく光照射の効果を検出できることが分かる。これを使って ~ 100 rad におけるコンダクタンス G を t_a に対してプロットしたものが図 2 である。○が明時、□が暗時を示す。 $t_a = 10$ s を境にして、明時と暗時の差が現れ、ナノ結晶からオージェ電子放出が顕著になることが見て取れる。この境界は、P を添加することによりナノ結晶からの発光が弱まり始める t_a と一致する[1]。即ち、 $t_a > 10$ s では Si ナノ結晶内で P が活性化され、オージェ電子の放出確率が増す結果、発光強度が弱まると説明できる。

【参考文献】

[1] I. Crowe *et al.*, JAP 113, 024304 (2013).

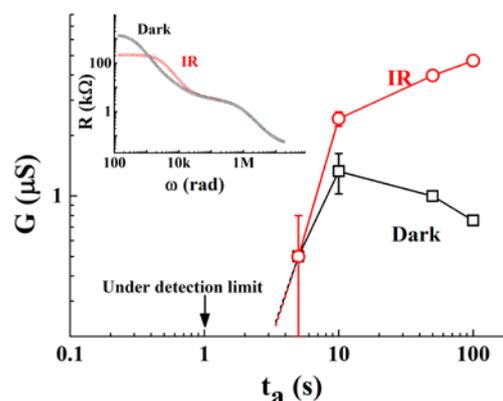


図 2 AC 電流によって得られた局所オージェ電子放出のアニール時間 t_a 依存性