

APD における過渡的な暗計数の時間・温度依存性

Temporal and temperature dependences of transient dark count in APD

○秋葉 誠¹、辻野 賢治² (1. 情通機構、2. 東京女子医大)

○Makoto Akiba¹, Kenji Tsujino² (1.NICT, 2.TWMU.)

E-mail: akiba@nict.go.jp

はじめに

APD の光検出限界は暗計数のルートに比例するため、APD の感度を上げるためには暗計数を格段に減少させる必要がある。電界強度を下げ、APD を使用することは、暗計数を格段に減少させる一つの有力な方法である[1]。我々は電界強度を下げ、APD をリニアモードで使用することで、0.0008c/s の暗計数を達成した[2]。しかし、この APD には時間に反比例して減少する過渡的な暗計数があり、暗計数を増大させる一つの要因となっていた。この暗計数は、その時間依存性から定常的な暗計数（この場合は 0.0008c/s）で動作させるためには 1 日以上かかるため、過渡的とはいえ無視できない暗計数である。この暗計数は熱処理により削減できることが分かったが、詳細なメカニズムは不明のままであった。今回、この詳しいメカニズムを理論的に明らかにした。また、この理論を適用することで、時間のべき乗で減少するアフターパルス現象[3]も説明できることも分かったので報告する。

理論と計算結果

APD の暗計数は、比較的電界強度の低い吸収領域や電界強度の高い増倍領域など様々な場所で発生する。時間に反比例して減少する過渡的な暗計数は、電界強度が高い増倍領域にあるトラップからの電子放出の放出率を考察することで説明できる。高電界領域における電子放射率は電界強度に依存することから、同じ種類のトラップからの放射でも電界強度の違いにより放射率が異なることになる。これらの異なる放射率の時間変動を重ね合わせることで全体としての時間変動 $n(t)$ を算出する。

$$\begin{aligned} n(t) &= A \int e_n(F(x)) \exp(-e_n(F(x))t) \rho(x) dx \quad (1) \\ &= A \int e_n(F) \exp(-e_n(F)t) \rho(F) dF \\ \rho(F) &= \rho(x) dx / dF \end{aligned}$$

ここで、 A 、 e_n 、 F 、 ρ はそれぞれ APD の面積、電子放射率、電界強度、トラップ密度を示し、 t 、 x

はそれぞれ時間及び pn 接合に沿った位置を示す。高電界中のトラップからの電子放射理論としては量子論的フォノン・アシステッド・トンネル理論[4]を採用した。(1)式を用いて計算した各温度における暗計数（実線）と測定値（点線）を図 1 に示した。時間依存性が良く一致していることがわかる。但し、理論値は測定時刻 1000 秒における値と一致するように規格化している。また、温度 180K においては見やすくするために 1/10 にしてある。測定時刻 1000 秒における暗計数の温度依存性を図 2 に示す。暗計数が温度の低下とともに増大することを良く再現できていることが分かる。

この理論を使用することにより高電界中で発生する過渡的な暗計数が一般的に時間のべき乗に比例することも示せ、アフターパルスへ適用できることも講演で示す。

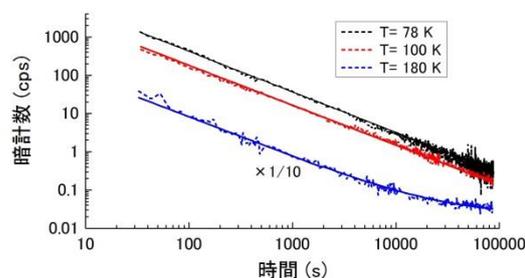


図 1, 暗計数の時間依存性

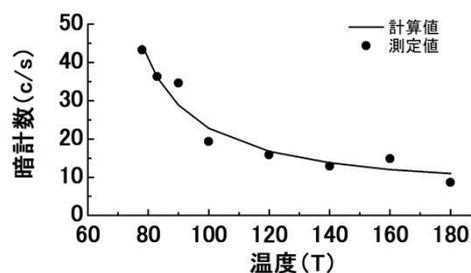


図 2, 暗計数の温度依存性

[1] A. Dorokhov, et al., J. Mod. Opt. **15**, 1351 (2004)

[2] M. Akiba, et al., Opt. Lett. **35**, 2621 (2010).

[3] A. M. Itzler, J. Mod. Opt. **59**, 1472 (2012)

[4] S. Markram-Ebeid et al., Phys. Rev. B. **15**, 6406 (1982)