



測定の再定義

シングルフォトン システム アプリケーションノート

動的光散乱における シリコン アバランシェ フォトダイオード

August 2016

前書き

このアプリケーションノートでは、小さな粒子によって散乱された光を測定するためのID100単一光子計数検出器の使用について説明します。散乱光強度の変動を分析することにより、粒子サイズを評価することができます。ID Quantiqueは、クラス最高の時間分解能と短いデッドタイムを備えたシリコンアバランシェフォトダイオード技術でコンパクトで手頃な最新のシングルフォトンディテクタを提供します。これらは特に動的光散乱アプリケーション向けです。

動的光散乱 (DLS) は、光子相関分光法 (PCS) または準弾性光散乱 (QELS) と呼ばれ、溶液中の小さな粒子のサイズを決定するために一般的に使用される技術です [1、2]。

単色の光ビームを粒子のある溶液に当てると、光が散乱します。粒子が入射波長よりもはるかに小さい場合、これは主にレイリー散乱です。この散乱強度は時間とともに変動します。時間依存の変動は、粒子がブラウン運動を起こし、粒子間の距離が絶えず変化するために発生します[3]。

散乱強度ゆらぎの時間依存性と、媒体の温度と粘度を知ることから、流体力学的直径を導き出すことができる粒子の拡散係数を計算することができます。

流体力学的直径は、測定対象の粒子と同じ並進拡散係数を持つ球体の直径です [3]。

レーザー光線が粒子を含む溶液に照射される場合、散乱光強度はID100シングルフォトンディテクタでいつでも測定でき、粒子のサイズは以下のように評価できます。

動的光散乱とその利点

DLSは非侵襲的手法であり、サブミクロン領域の分子と粒子のサイズを測定するために確立されています。

この方法にはいくつかの利点があります。

- ✓ 1nmから光の波長の1/10の粒子サイズを測定
- ✓ 通常は1%の精度
- ✓ 短い実験時間 (1~2分)
- ✓ 信頼性と再現性のある分析
- ✓ 簡単なサンプル調製
- ✓ サンプル量が少ない (最低2 uL)
- ✓ 適度な開発コスト

ID100シングルフォトンディテクタ

ID100シングルフォトンディテクタは、可視スペクトルに敏感な信頼性の高いシリコンアバランシェフォトダイオード (APD) に基づいています。モジュールは、単一光子レベルまでの弱い光信号を検出できます。非常に低いダークカウントレート、40psのタイミング分解能、45nsのデッドタイムを備えたこのモジュールは、比類のないダイナミックレンジを備えています。非常に狭いInstrument Response Function (IRF) に加えて、少なくとも10MHzのカウントレートまで優れたタイミング安定性を備えています。ID100は、次のバージョンで使用できます。

- ✓ ID100-20 : 20mmのアクティブエリアを備えた自由空間カップリング
- ✓ ID100-50 : 50mmのアクティブエリアとの自由空間カップリング
- ✓ ID100-SMF20 : 20mmのアクティブエリアを備えたシングルモードファイバーカップリング
- ✓ ID100-MMF50 : 50/125um FC / PCマルチモードファイバーカップリング付き
- ✓ ID100-MMF50 : 100/140um FC / PCマルチモードファイバーカップリング付き

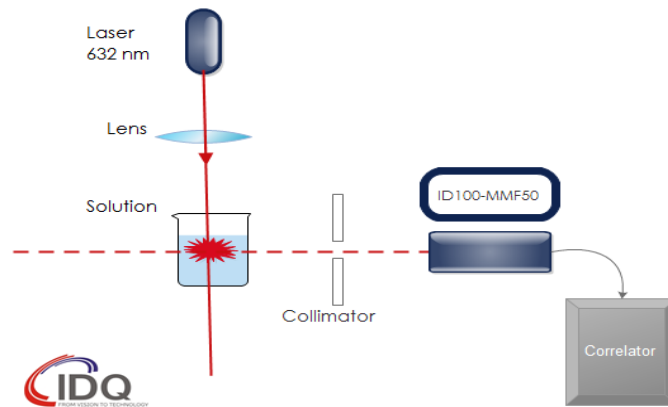
ID100モジュールには、ダークカウントレートの仕様に応じて2つのグレードがあります。超低ノイズグレードの場合、ダークカウントレートは、ID100-20では5Hz未満、ID100-50およびID100-MMF50では20Hz未満です。主な機能は次のとおりです。

- ✓ 広いスペクトル範囲：350～900 nm
- ✓ クラス最高の40psの時間分解能
- ✓ 5Hz未満の低いダークカウントレート
- ✓ 低デッドタイム (45ns)
- ✓ 光子検出確率 最大 35%
- ✓ Standard 50Ω [BNCコネクタで出力]
- ✓ 高速アクティブクエンチング回路
- ✓ 低バイアス電圧 +5V
- ✓ 強い照明でも損傷しない

下記の測定では、ID100-MMF50検出器を使用して散乱光強度を計算しました。

実験セットアップ

図1: 動的光散乱実験のセットアップ



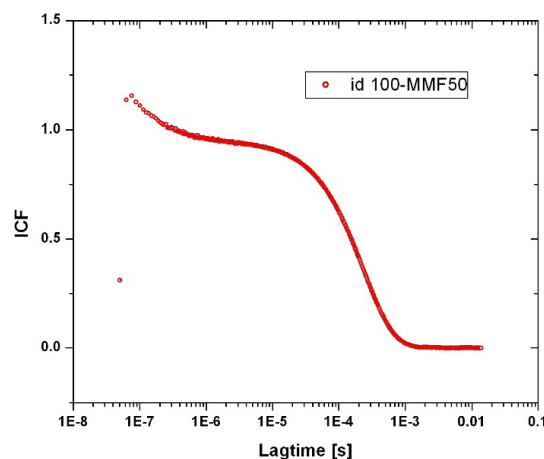
自己相関

実験のセットアップを図1に示します。この測定には632nm He Neレーザが使用されます。ビームはコリメーションレンズを通過し、光を溶液に集束させます。その後、散乱光はID100-MMF50シングルフォトンディテクタによって検出されます。

ID100-MMF50からの出力信号は、時間の関数として検出された単一光子の数を計算する相関器に送信されます。自己相関関数は、検出された光子統計から計算されます。図2は、正規化された強度相関関数 (ICF) の時間変動を示しています。パルス発生後の確率がゼロの検出器の場合、標準化されたICF曲線は、遅延時間の増加とともに1から0になります。

図2の短い遅延時間で観察された1からの偏差は、通常0.5%であるID100-MMF50のアフターパルス率によるものです (その測定に関する詳細は、付録文書に記載されています)。

図2: 自己相関測定における強度相関関数 (ICF) の時間依存性
LS Instrumentsの厚意により提供



相互相関測定

相互相関測定は、図3に示すように、2つの単一光子検出器 (ID100-MMF50) を使用して実行されます。この測定では、サンプルに632nmのレーザービームを照射し、固定角度で散乱光の一致を測定します。検出された信号に対して相互相関を実行することにより、パルスレート後の検出器によって作成されたアーチファクトを除去することが可能です。

また、LS Instrumentsの特定の相互相関セットアップ (図3) により、複数回散乱する光子の抑制が可能になり、混濁したサンプルの測定を大幅に妨害します。

図3: 相互相関実験のセットアップ。LS Instrumentsの厚意により提供

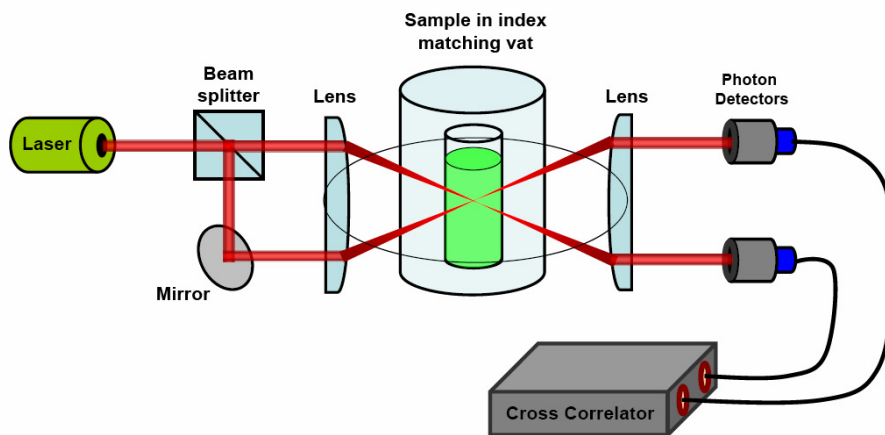
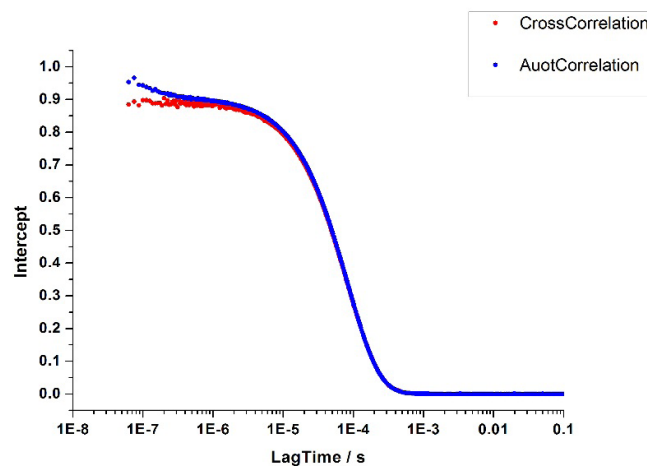


図4は、自己相関測定と相互相関測定の正規化強度相関関数の比較を示しています。アフターパルスの影響が除去されるため、相互相関曲線は短い遅延時間でフラットな動作をします。遅延時間が長い場合、両方の曲線は似ています。アフターパルス効果が抑制されるため、信頼できる粒子サイズ測定が可能になりました。

図4: 相互相関測定と自己相関測定の比較。LS Instrumentsの厚意により提供。



強度相関関数が測定されると、仮定された粒子サイズ分布に基づいたデータを数学モデルに適合させることにより、粒子サイズを計算できます[3]。適切なデータ分析により、DLSは粒子の凝集を検出するための敏感な方法でもあります。

産業開発

上記のセットアップでは、ID100単一光子検出器モジュールが使用されます。ID Quantique は、ID100の OEM (Original Equipment Manufacturer) バージョンも提供しています。ID101は、市場で最も小さく、最も信頼性の高いシングルフォトンディテクタです。低コストで、機械的および電氣的に簡単に実装できるため、ID101はプリント基板に簡単に取り付けて、分光計や顕微鏡などの機器に内臓できます。

結論

ID Quantique の ID100-MMF50 単一光子検出器は、40psの時間分解能と45nsのデッドタイムで可視スペクトルの弱い信号を検出できます。相互相関の動的光散乱 (DLS) 測定を実行すると、アフターパルスレートのわずかな影響がなくなります。ID100-MMF50は使いやすく自己完結型の検出器で、動的光散乱 (DLS) 実験に使用でき、OEMバージョンID101のおかげで商用セットアップに実装できます。

参考資料

- [1] P. Schurtenberger, and M. Newman, “Characterization of Biological and Environmental Particles using Static and Dynamic Light Scattering”, In Environmental Particles, J. Buffle, H. van Leeuwen, Eds.; Lewis Publishers: Boca Raton, 1993, 37-115.
- [2] T. G. Mason and D. A. Weitz, “Optical Measurements of Frequency-Dependent Linear Viscoelastic Moduli of Complex Fluids”, Phys. Rev. Lett.74 (1995), pp.1250-1253.
- [3] Michael J Saxton, Ken Jacobson, “SINGLE-PARTICLE TRACKING : Applications to Membrane Dynamics” Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure Vol. 26: p 373-399 (1997) or “Brownian dynamics with hydrodynamic interactions” in Article Reference
- [4] F. Scheffold, “Particle Sizing with Diffusing Wave Spectroscopy”, Journal of Dispersion Science and Technology, 23 (5) (2002), pp. 591.599.

この文書の情報は、予告なしに変更される場合があります。

Copyright c 2017 ID Quantique SA

この出版物のいかなる部分も電子、機械、コピー、記録、その他。、複製、検索システムへの保存、いかなる形式または手段による送信もID Quantiqueの許可なしでは禁止されています。

本書では、商標および商標名を主張する事業者またはその製品を指すために、商標および商標名が使用される場合があります。

ID Quantique SAは、自社以外の商標および商品名の所有権を放棄します。