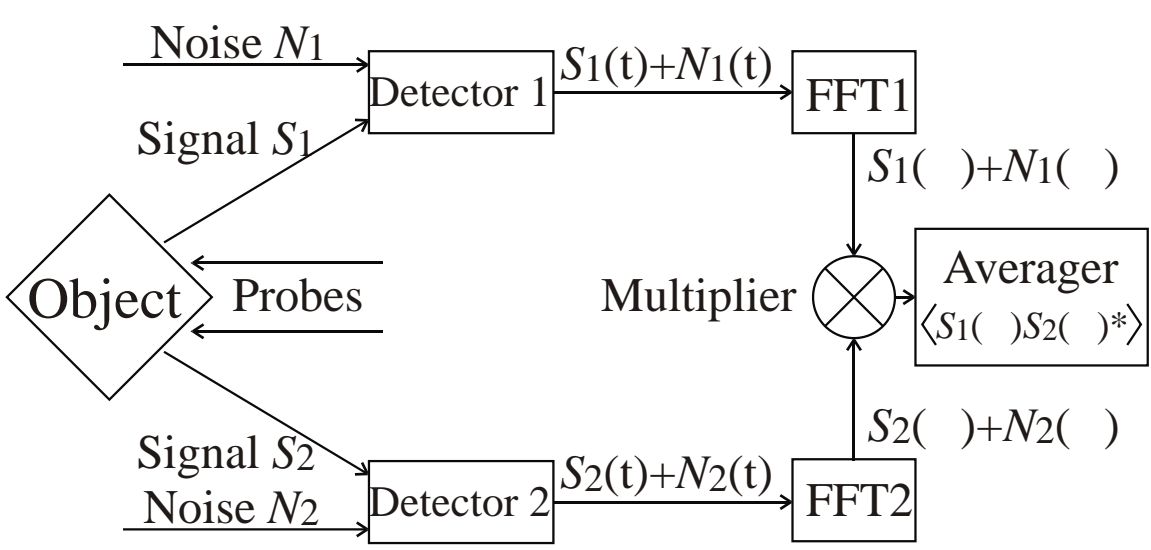


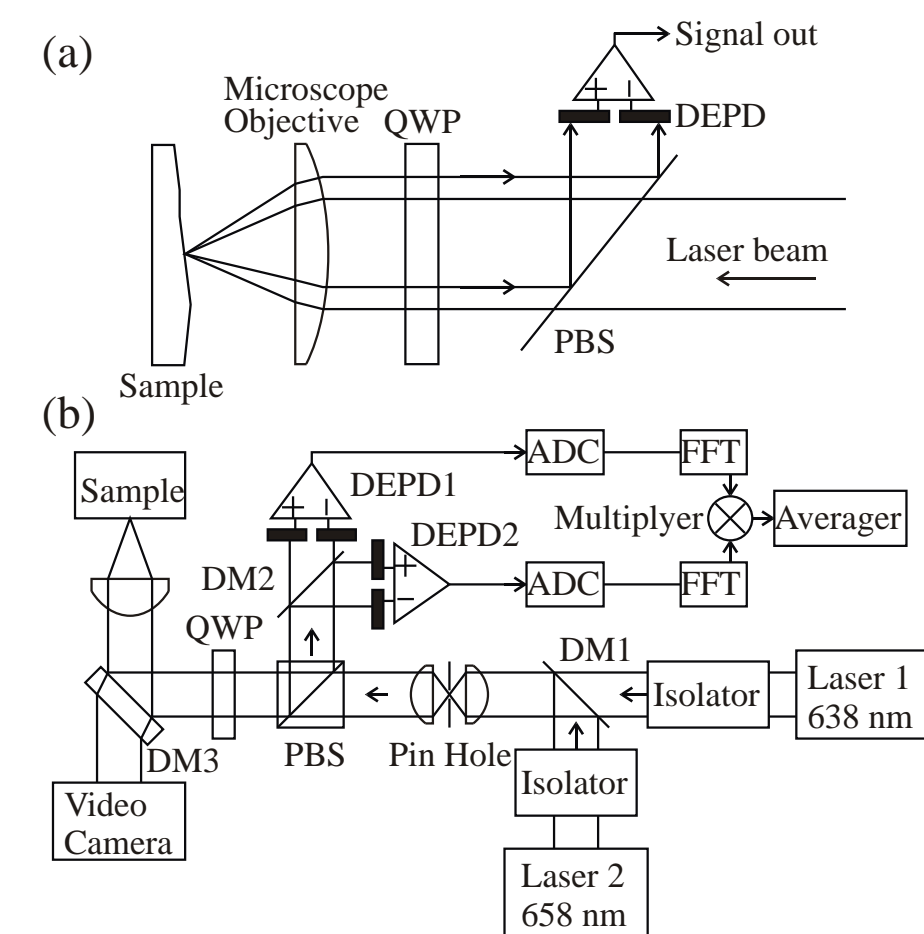
はじめに

物質は原子から構成されている。この原子は静止しているのではなく、熱エネルギーにより乱雑な熱運動をしており、特に液体中の微粒子の場合、ブラウン運動として古くから知られている。原理的には、あらゆる物質のあらゆる部位が熱運動しているのだが、熱運動はときに小さく、計測は必ずしも容易というわけではない。私たちは、光を用いて熱運動の計測を行っていたが、すぐに限界に達した。光計測は最も感度の高い計測と言われているが、光電池（太陽電池）で光を電流に変換するときの光電効果に付随して不可避に生じる散乱雑音のため、それ以下の熱運動の計測ができない。熱運動はランダム信号であり、散乱雑音もランダムなので、両者の区別は容易ではない。計測光の強度を上げると感度は向上するが、試料が焼損してしまう。このような中、統計的に散乱雑音のみを低減化する方法の考案を行い、様々な物質の熱運動計測を行っている。

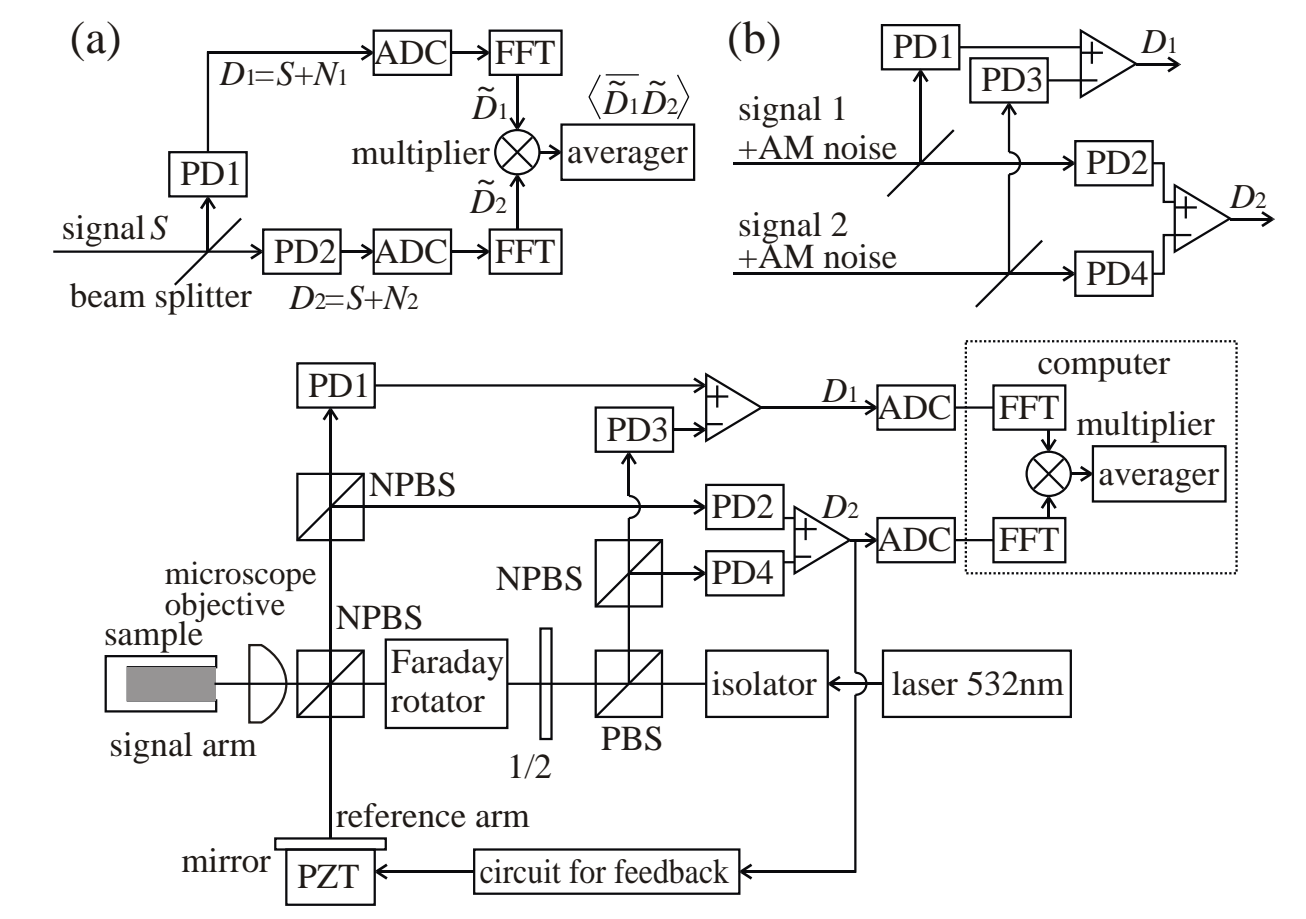
散乱雑音低減化の原理



同一対象物を同時に2つの方法で互いに独立に測定すると、信号は同一だが、雑音は両者で無相関になる。そこで、両者の相関を求めれば、雑音の低減化された信号を得ることができる。

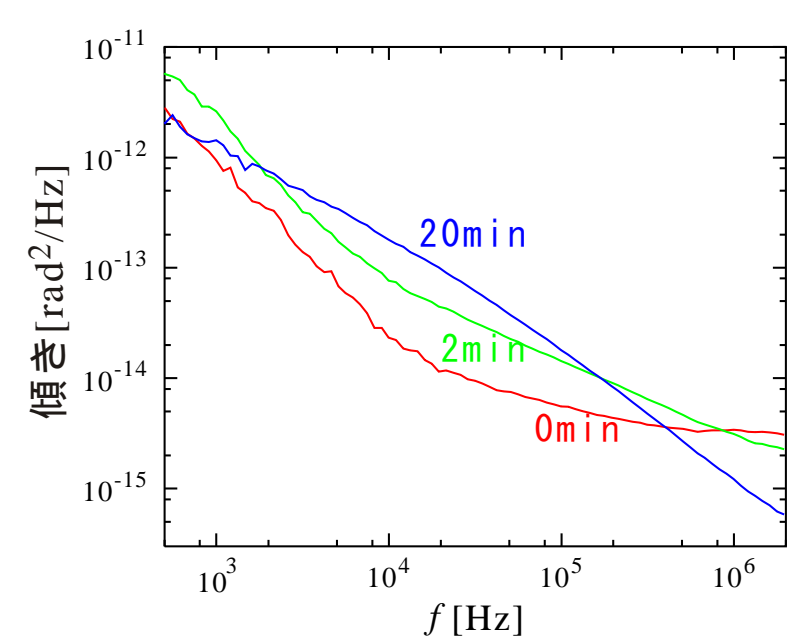


2波長のレーザーを用いた計測を光テコに適用した例。

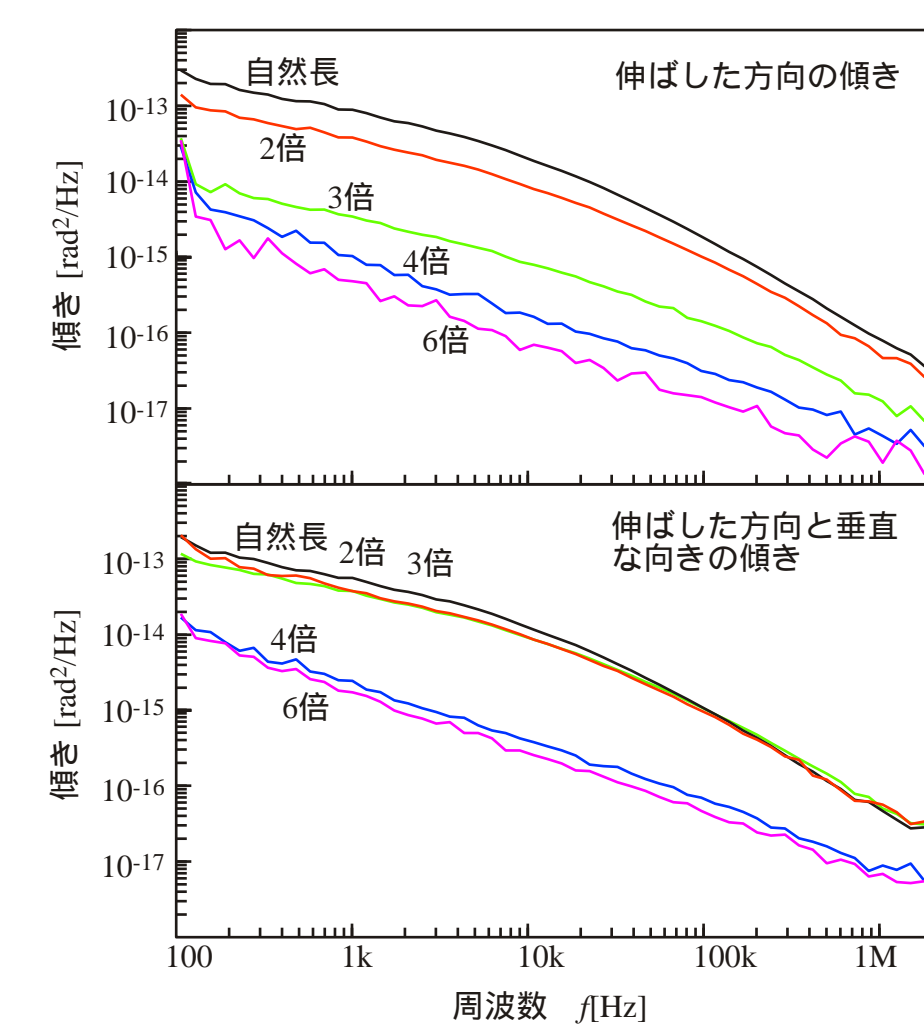


同一レーザー光から出力された光でも、ビームスプリッターで分けて個別に光電変換すれば、散乱雑音は互いに無相関になる。この原理をマイケルソン干渉計に適用した例。

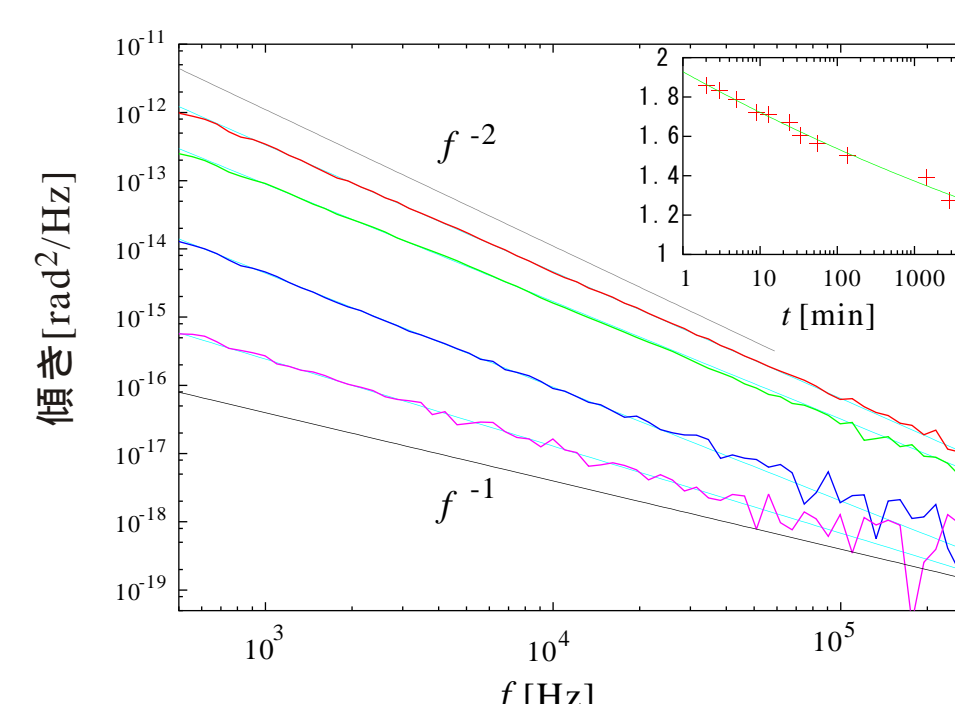
柔らかい物質の計測例



さかな（あゆ）の目の表面目に水を一滴垂らしてから乾燥に伴う分子運動の変化



ゴムを引き伸ばしたときの表面分子運動の変化



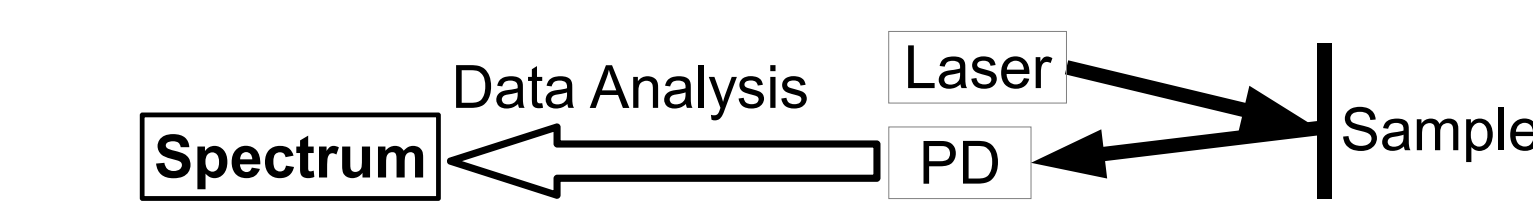
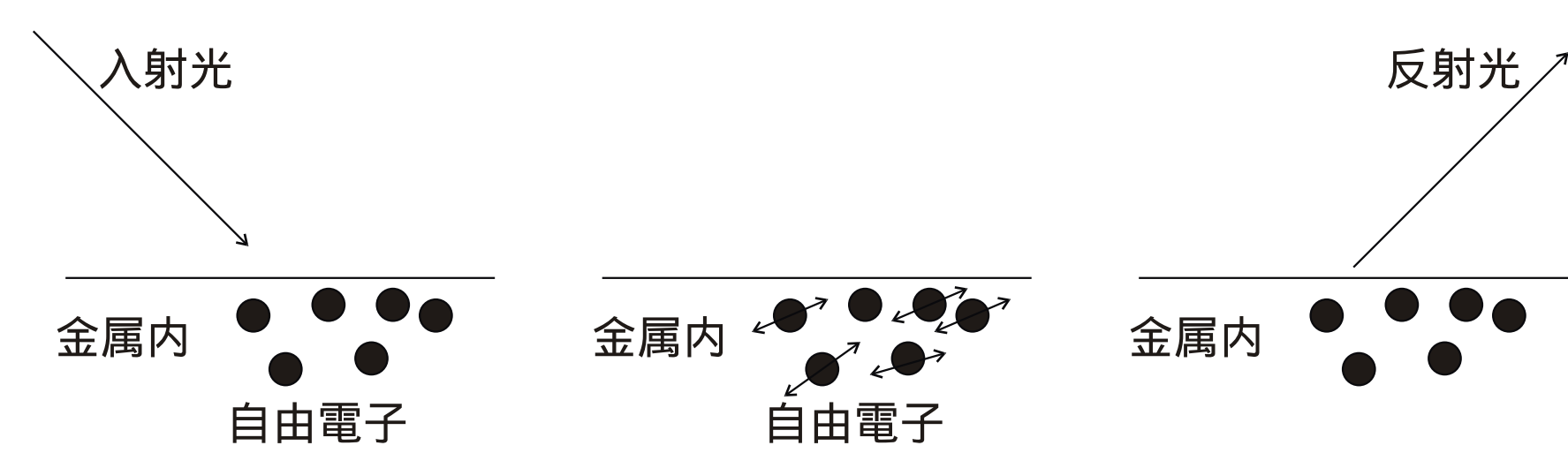
エポキシ接着剤の硬化に伴う表面分子運動の変化

従来、研磨された固体や、粘度の低い液体の表面の熱運動は、光の回折を用いて計測されていた。しかしながら、ゴムなど柔らかく、表面が平らではない物体は、回折効果が生じないため、回折法で測定できなかった。光テコや干渉計は、これに代わる優れた計測方法であるが、試料が焼損しないような光強度では、散乱雑音に埋もれて、計測ができない。本研究では、散乱雑音低減化法を用いて、これらの物体の熱運動を測定に成功した。

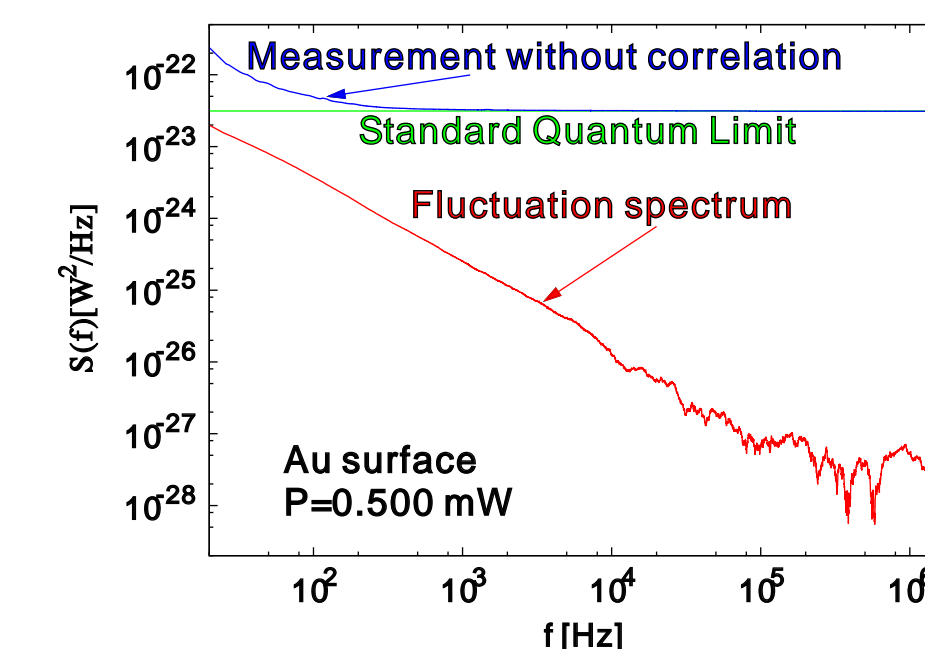
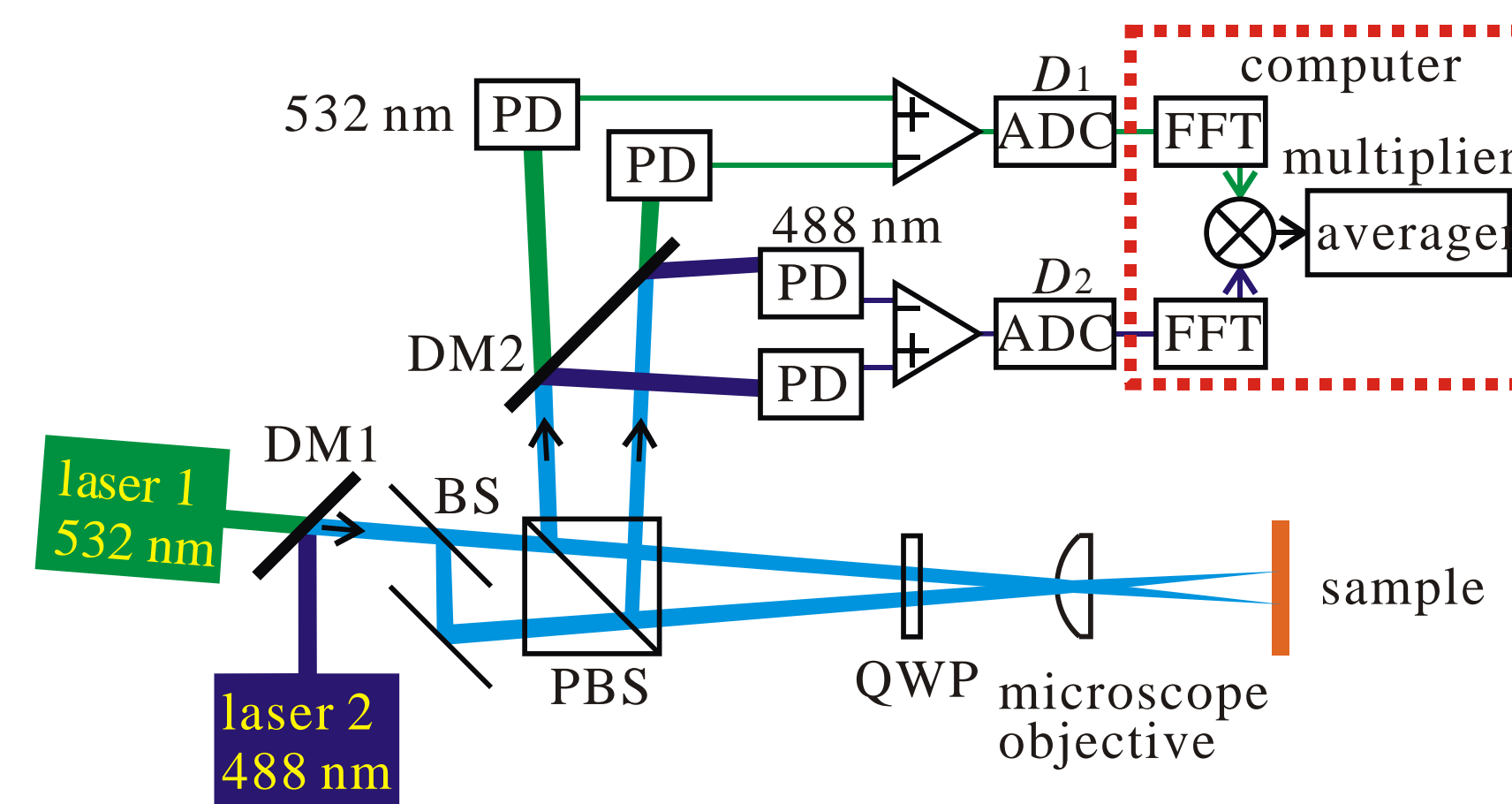
金属の反射率ゆらぎの計測

- 鏡など、金属による光の反射は、
- 1) 金属に光が照射されると、
- 2) 光の電場により金属中の自由電子が運動し、
- 3) 運動している自由電子から電磁波（光）が放射される。

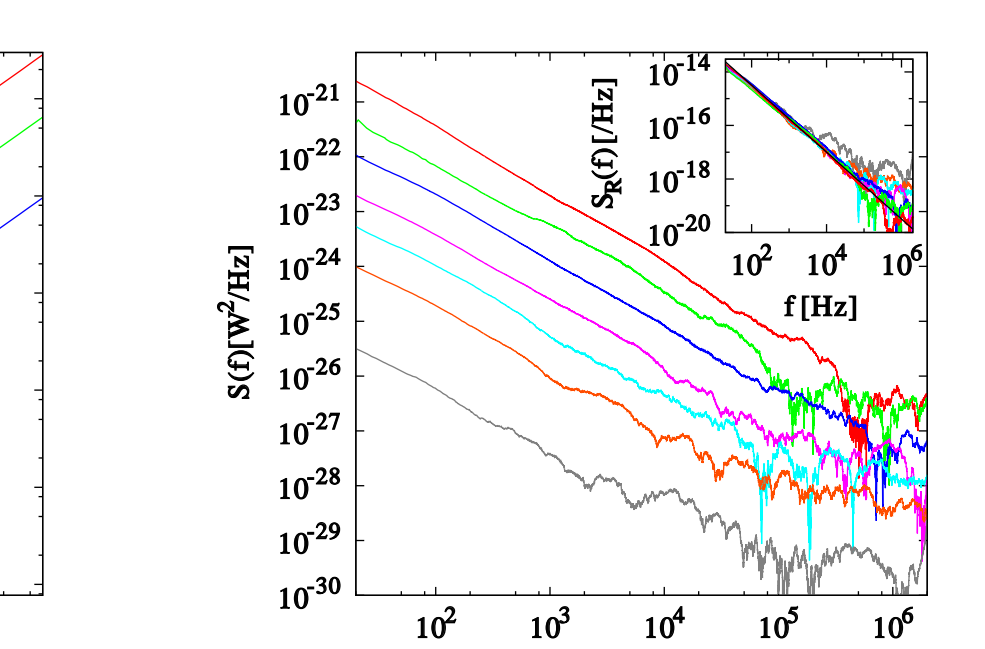
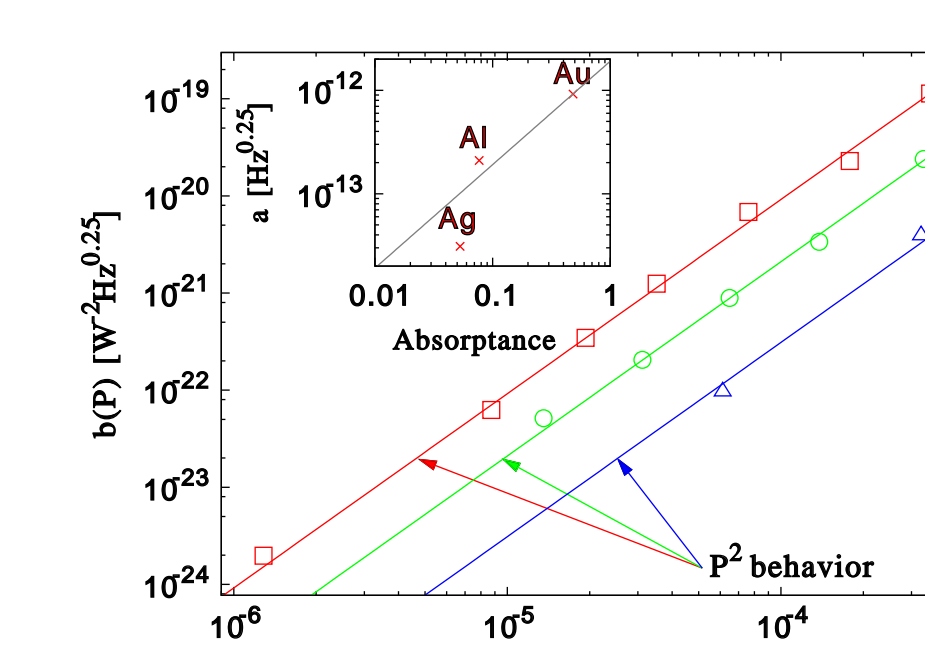
電子の数は有限で、熱運動しているから、反射率が揺らぐ可能性がある。



原理的には、単純に反射光の強度雑音を測定すれば良いのだが、実際には、散乱雑音とレーザー光の強度雑音に埋もれるため、複雑な計測系になる。

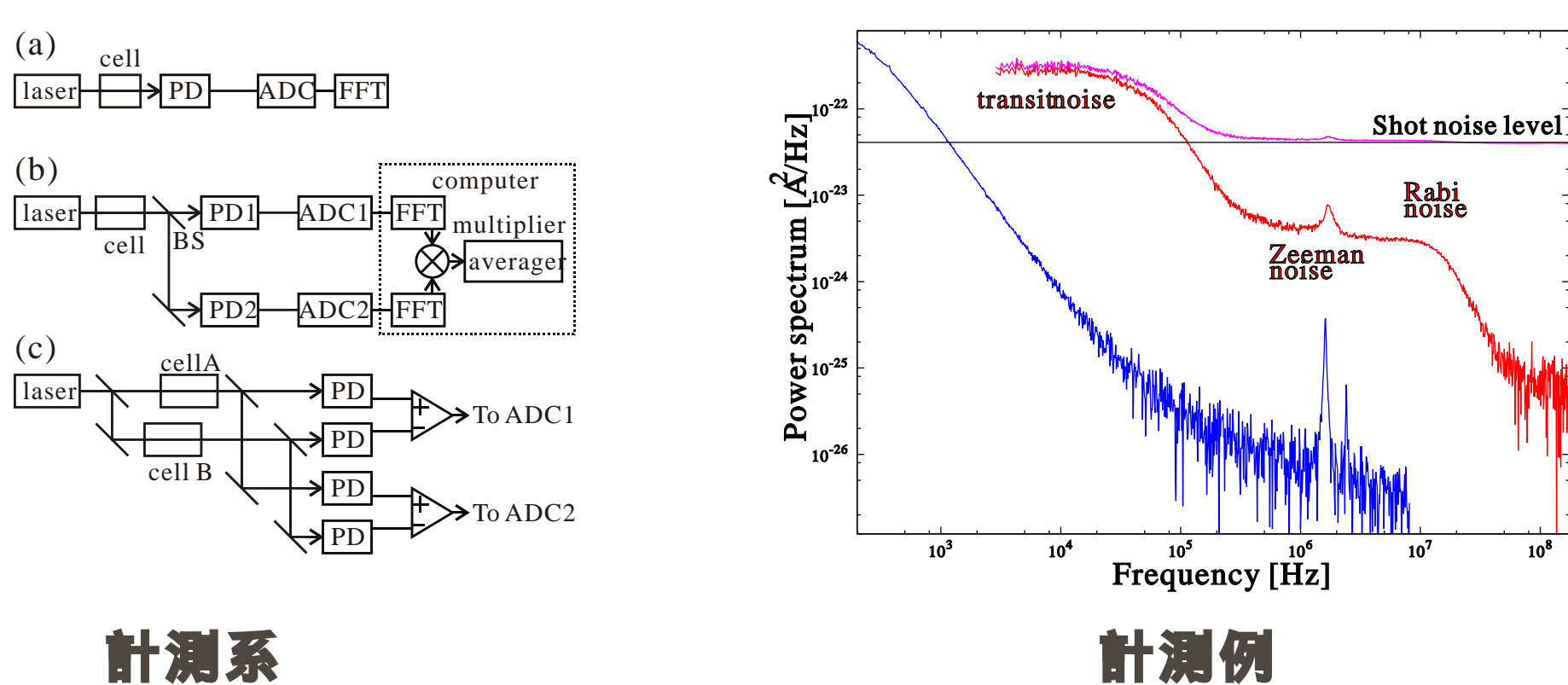


金を用いて一週間ほど積算した結果、散乱雑音限界より反射光の強度ゆらぎが小さいことがわかる。この揺らぎから、金属中における光反射に関する新しい知見が得られると期待される。金は反射率揺らぎが大きく、銀は小さいことが分かる。

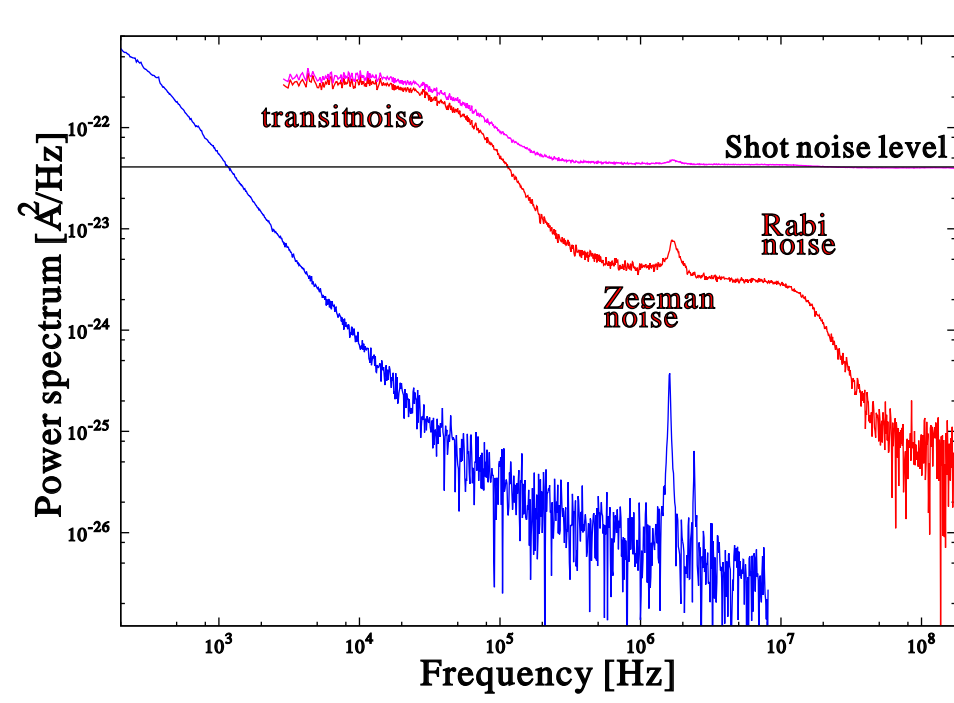


Rb原子が光と相互作用するとき生じる自発雑音の計測

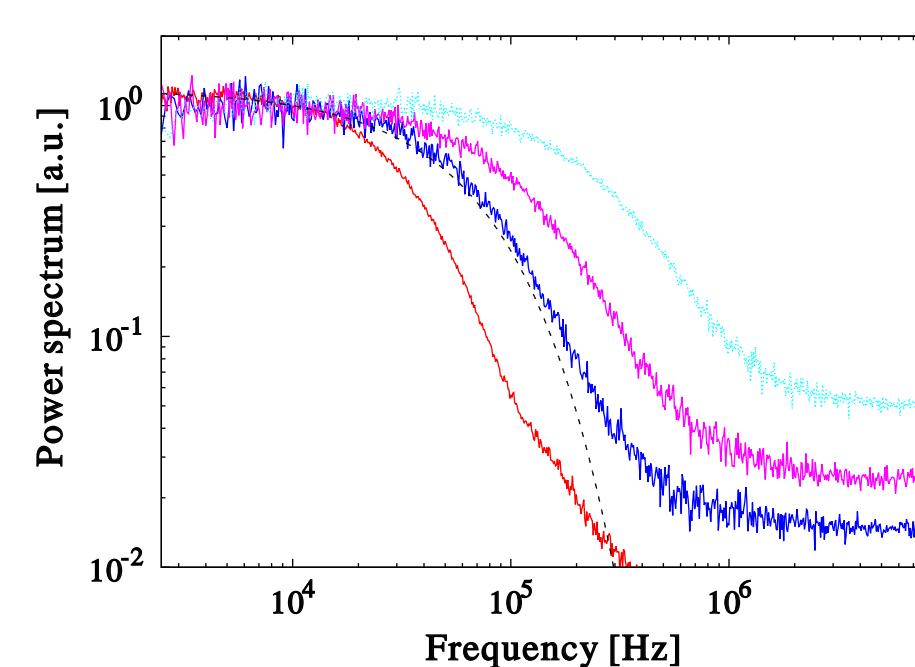
真空中での希薄なRb気体原子にD線に共鳴するレーザー光をあて、Rb原子が発生させる雑音(光の吸収率の揺らぎ)を調べた。単純には、Rb原子の封入されたセルを透過した光の強度雑音を調べれば良いのだが、散乱雑音とレーザー光の振幅雑音に埋もれて観測できない。そこで、散乱雑音低減化法を用いて観測した。



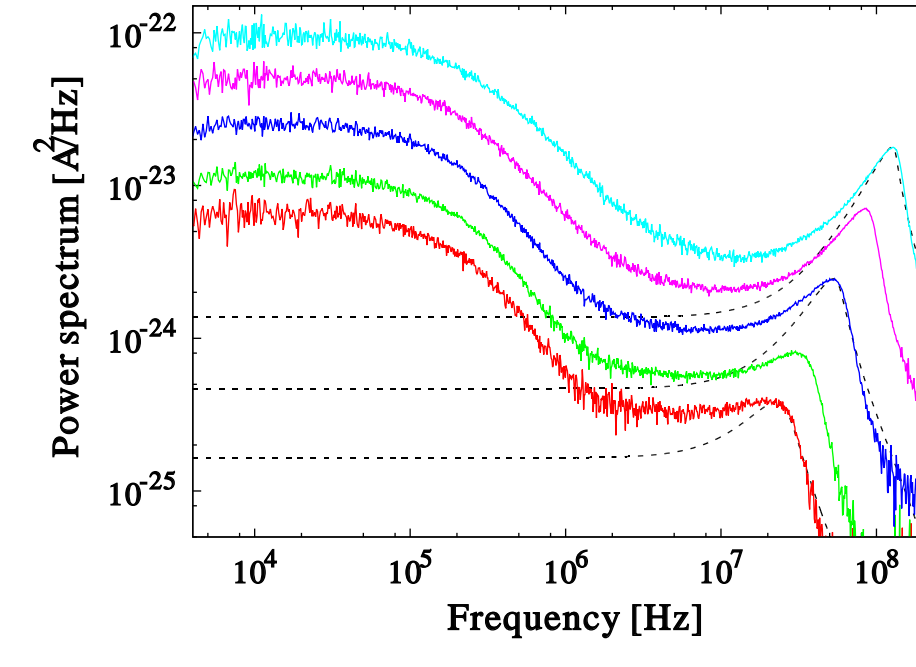
計測系



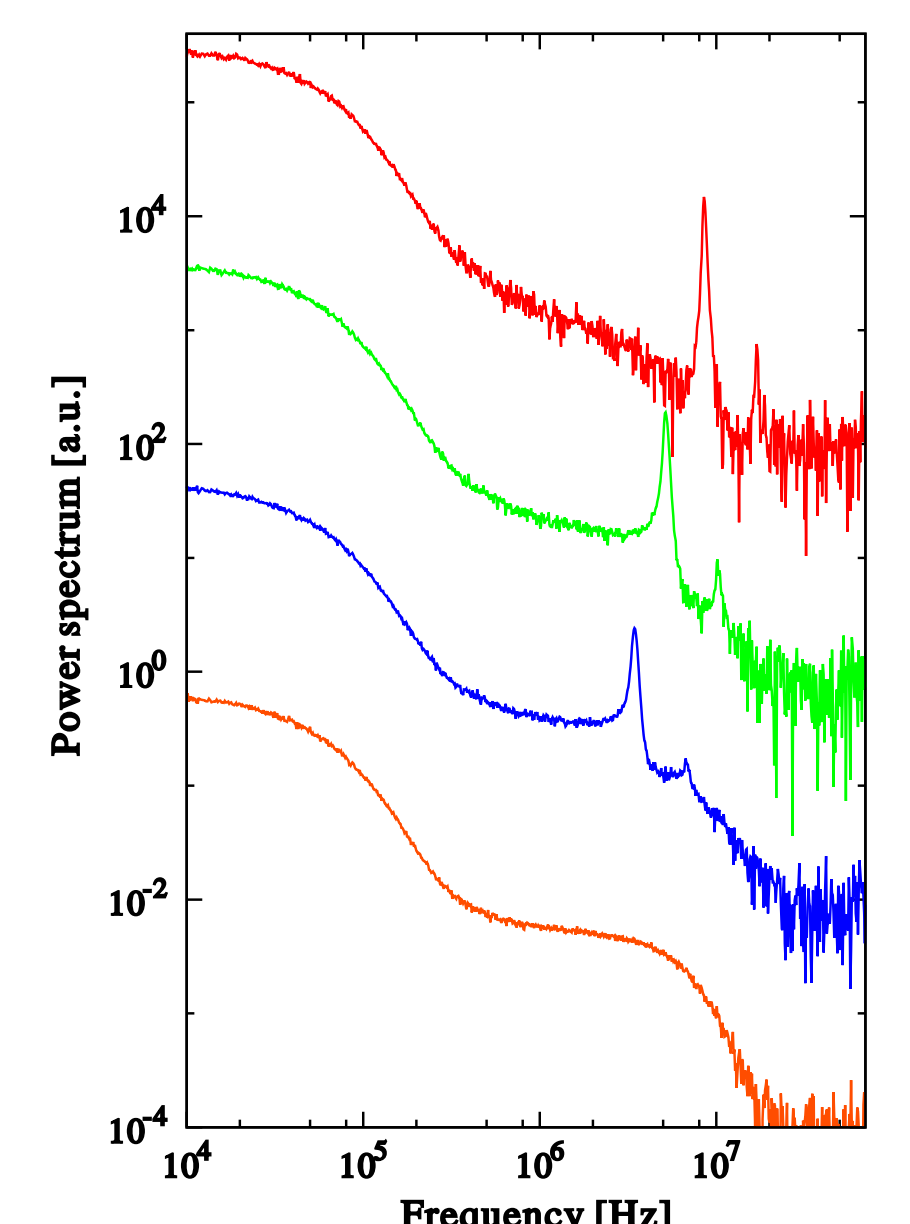
計測例



原子がレーザー光を横切ること生じる雑音(transit noise)



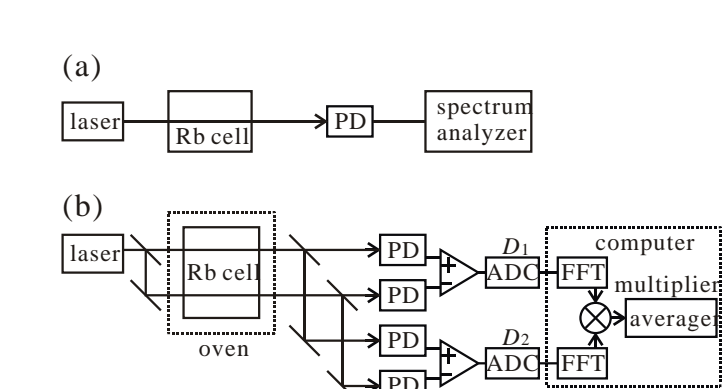
原子が基底状態と励起状態を繰り返す(Rabi振動)と、吸収と誘導放出が生じ、雑音が生じる。(Rabi noise)



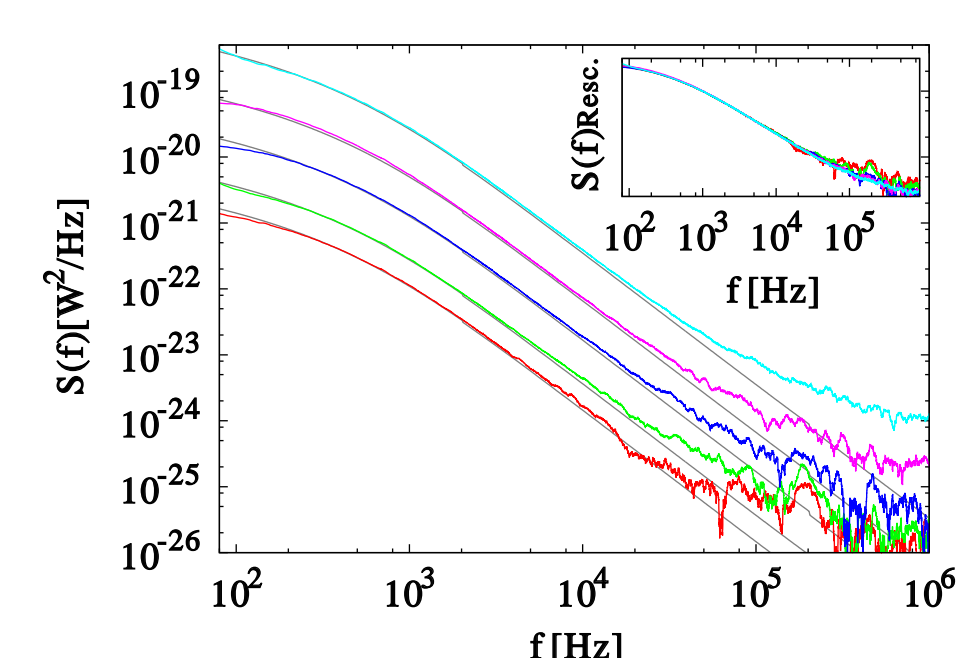
磁場中の原子がラーモア歳差運動することで、光の吸収率が変化することで生じる雑音。(Zeeman noise)

バッファガス中のRb原子がレーザー光を横切るとき生じる雑音の解析

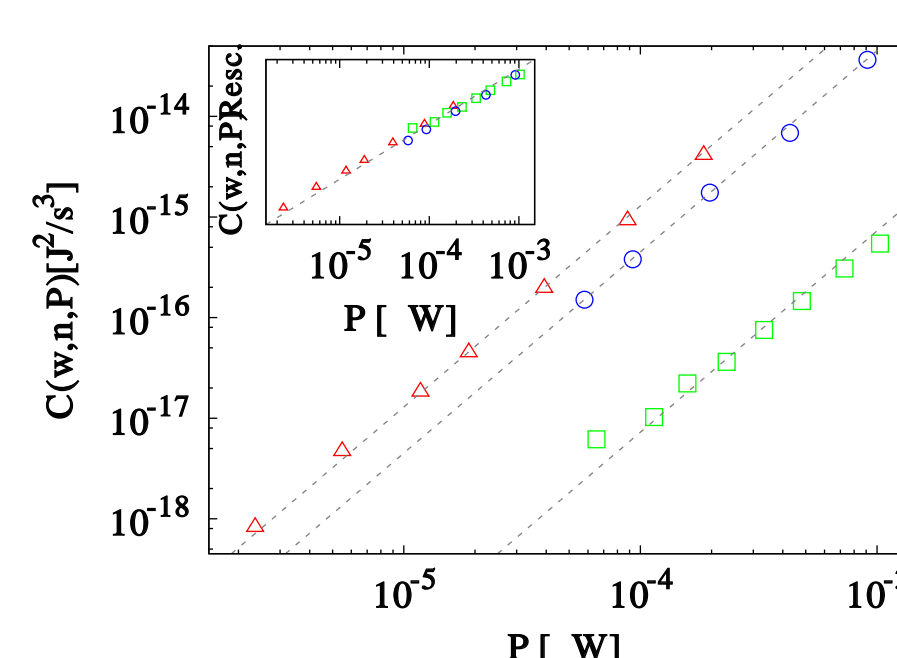
バッファガス中のRb原子が出すtransit noiseの解析結果。



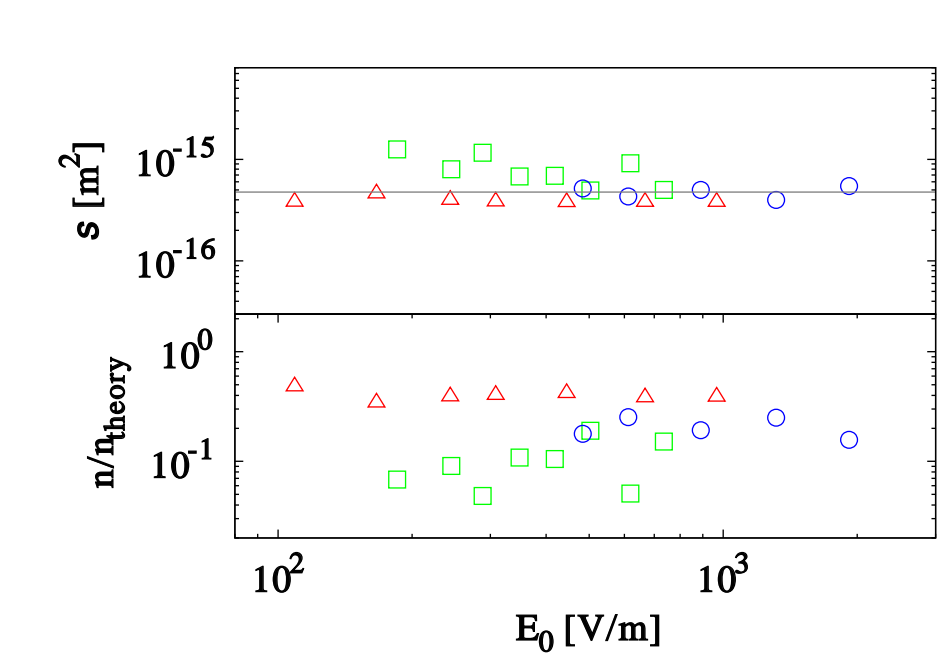
計測系



高い周波数では f^{-2} であるが、200Hz付近で傾きが変わる。これは、レーザービームのビーム径とRb原子の拡散との兼ね合いで決まる。



生じたtransit noiseは、レーザー光強度の二乗に比例する。雑音はpower spectrumなので、二乗であることは、transit noiseの発生が、線形現象であることを意味している。



一回の雑音スペクトラム計測から、光の吸収率、雑音強度、傾きが変わる周波数を求められる。ここから、Rb原子の数密度、光散乱面積、バッファガス中の拡散係数を求めることができる。