

## 一次元ナノ構造体の光誘起電気伝導

(日大理工) ○佐甲徳栄

## Laser induced conductivity in one-dimensional nanostructure

(CST, Nihon Univ.) ○Tokuei Sako

【序】分子鎖や量子ドット等によって架橋された擬 1 次元ナノ構造体の電気伝導は、ナノデバイスを構成する基本素子の性能を特徴付ける物性として、近年大きな注目を集めている [1]. 現在、均一にナノスケールの構造体を作りこむ技術が開発途上にあるため、作成された個々のナノ構造体は、サイズ・形状・電極との接合状態にばらつきを持ち、この不均一さのために、それらの電気伝導の I-V 特性もばらつきを持つという問題点がある. この「性能のばらつき」を前提に、ナノ構造体に目的の動作を実行させる方法として、確率共鳴を用いた方法が提案されている [1]. これは、ナノ構造体に外部からノイズを印加することによって応答の閾限界をクリアし、信号を取り出すという方法である. 本研究ではこの外部からノイズを与えるという発想に基づき、ノイズを外部電磁場と見立て、パルス電磁場照射条件化において、擬 1 次元ナノ構造体にどのような過渡的な電流が生じるかを理論計算により調べた.

【理論モデル・計算方法】本研究では、巨大な振動子強度によって光と強く結合することができる量子ドットに着目し [2], 次式で定義される電極と接合した複数の一次元単一電子量子ドット鎖を考察した :

$$\hat{H} = -\frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \sum_{\alpha=1}^M V_{\alpha}(z) - E_0 z + E(t) z, \quad (1)$$

$$V_{\alpha}(\mathbf{r}) = -D_{\alpha} \exp\left[-\frac{\omega_{\alpha}^2}{\sqrt{2D_{\alpha}}}(z - z_{\alpha})^2\right]. \quad (2)$$

式(1)において、右辺第 2 項は  $M$  個の量子ドットの閉じ込めポテンシャル, 第 3 項は電極間の電位差による静電ポテンシャル, 最終項は長さゲージによる光電場と電子との相互作用ポテンシャルを表す. 量子ドットの個々の閉じ込めポテンシャルは, 式(2)で表されるガウス型の引力ポテンシャルを用いた [3]. 図 1 に、電極の両端に電圧が印加された場合の 3 個の量子ドットからなる 1 次元鎖のポテンシャルエネルギーの一例を示す. 一番左端の井戸に初期電子波束を置き、パルスレーザー光が照射された場合における過渡的な電流を、鎖の

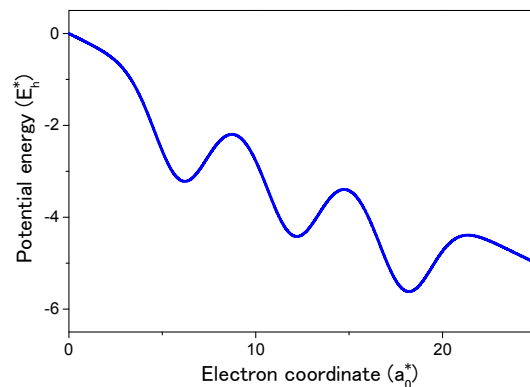


図 1. 電圧が印加された 3 個の量子ドット鎖のポテンシャルエネルギー. 横軸・縦軸は有効原子単位系でのボーア半径  $a_0^*$  およびハートリーエネルギー  $E_h^*$  を単位として表している.

右端から流れ出る電子の確率密度として計算した。電子波束の時間発展は、確率密度の保存の精度が高いシンプレクティック・インテグレーター法[4]を用いて計算を行った。

【結果】図2に電子波束の時間発展の一例を示す。図2が示すように、レーザー場が照射される前( $t=0$ )においては、電子波束はトンネル効果によって少しずつ右端から染み出していくが、レーザー場が照射されると( $t=85t_0^*$ ,  $98t_0^*$ ), レーザー電場によって電子波束は偏光方向に強制振動し、大きな過渡電流として電極から流れ出る。

図3に電子波束の時間発展から計算した過渡電流のレーザー周波数依存性を示す。図に示された電流値のベースラインは零点よりも上側に位置しており、この電流のDC成分は、レーザー場が照射されない場合におけるトンネル電流成分を表している。この図の例では、レーザーパルスの中心周波数が $\omega=0.7$ のときに、レーザー光と単一量子井戸は共鳴を起こす。実際図の過渡電流の結果が示すように、この周波数において最大の過渡電流が生成している。また、電子波束が個々の井戸内で強制振動をする際の振動数が現れている。当日は、照射するレーザーパルス光の中心周波数および振幅と電気伝導の関係を議論する。

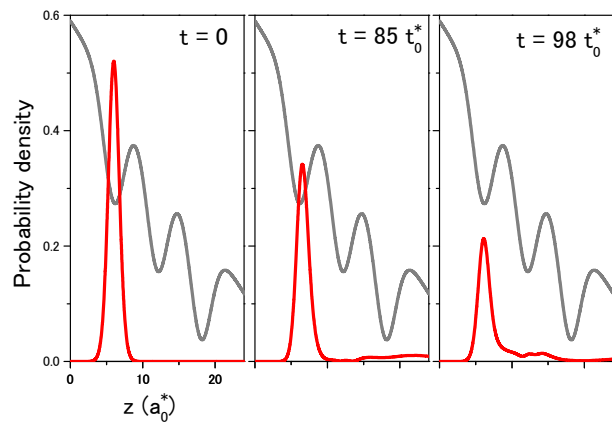


図2. 電子波束の時間変化.  $t_0^*$ は有効原子単位の単位時間を表す。

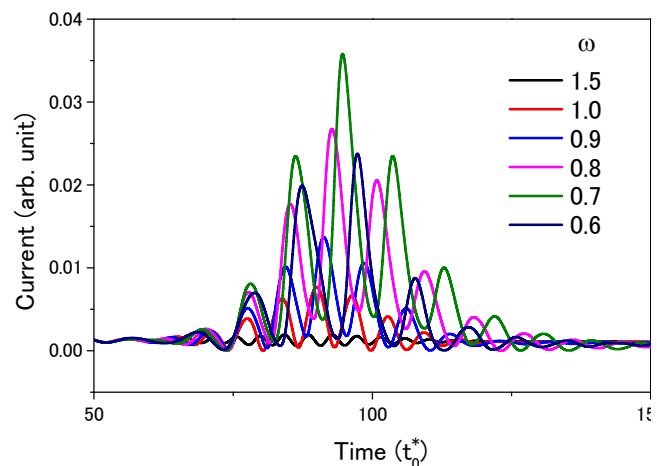


図3. レーザー光によって誘起された過渡電流のレーザー周波数依存性。

[1] 分子アーキテクトニクス : <http://molarch.jp/>

[2] T. Sako et al., Phys. Rev. B **74**, 045329 (2006).

[3] T. Sako et al., Phys. Rev. B **75**, 115413 (2007); J. Phys.: Condens. Matt. **20**, 155202 (2008).

[4] K. Takahashi and K. Ikeda, J. Chem. Phys. **99**, 8680 (1993).