

大阪大学産業科学研究所 吉田陽一

1. 放射線と物質の相互作用

- 2. 有機材料における素過程
- 3. アト秒ビーム応用

1. 放射線と物質の相互作用

電子と物質との相互作用

- 電離
- 電子的励起
- 振動励起
- 回転励起
- 解離性付着
- 弾性散乱
- その他

電子と物質との相互作用

- 電離
- 電子的励起
- 振動励起
- 回転励起
- 解離性付着
- 弾性散乱
- その他



電子の種類?

■ 1次電子(入射電子)
 ■ 2次電子(高エネルギー:イオン化可能)
 ■ 電子(熱化電子)(低エネルギー:イオン化可能不可)

電子の種類?





電子の種類?



2次電子

イオン化



原子・分子がエネルギー を受け取って、その結果、 電子が飛び出す。

高エネルギー電子ビーム が物質に及ぼす作用のほ とんどがイオン化である。

イオン化に必要なエネルギーは約10eV

LET (Linear Energy Transfer) 線エネルギー付与

0.2 eV / nm

低LET放射線(電子線、X線、ガンマ線)

イオン化のG値

G値:100eVのエネルギーを物質が吸収した時に生成する活性種の個数

$G_{ion} \sim 5$

従って、平均的に20eVのエネルギーによって、イオン化が1つ起こる。 イオン化エネルギーは10eVなので、残りの10eVは、熱などに変わる。



Radiation energy is lost mainly at spur in the material.

2. 有機材料における素過程

アト秒・フェムト秒パルスラジオリシス



New accelerator technique: laser photocathode RF electron gun, etc.

Electron Pulse Generation by Laser Photo-Cathode RF Gun

1.6 Cell S-band (2856MHz) RF Gun

Picosecond Nd:YLF Laser

Pulse width: 5 ps @UV light
Pulse energy: 0.2 mJ @UV light
Time jitter : <0.5 ps RMS
*Synchronized with 79.3MHz RF(1/36 of 2856MHz)





 $E_0=100 MV/m$



3 8 MeV電子パルス

大阪大学産業科学研究所 (2006年)

Attosecond pulse radiolysis





磁気パルス圧縮器

ストロボスコピックとは



パルスラジオリシス



Femtosecond Pulse Radiolysis



Photocathode RF gun



Femtosecond electron linac



Magnetic pulse compressor



Laser and detection system

非極性物質中での反応 (アルカン:RH)

RH → RH⁺⁺ + e⁻ (イオン化) RH⁺⁺ + e⁻ → RH^{*} (ジェミネートオン再結合)

RH* \rightarrow R• + H• (アルキルラジカルの生成⇒架橋) RH* \rightarrow R•₁ + R•₂ (分解) RH* \rightarrow R(-H) + H2 (ダブルボンドの生成)

. . . .



ジェミネートイオン再結合の様子





Time-dependent behavior of n-dodecane cation radical observed by subpicosecond pulse radiolysis.

Radiat. Phys. Chem., 60, 319 (2001)

experiment

-Simulation based on the diffusion theory





Time-dependent behavior of cation radical in femtosecond pulse radiolysis of n-dodecane (800 nm).

$$RH \rightarrow RH^{+*} \cdot +e^{-}$$

$$RH^{+*} \cdot \rightarrow RH^{+} \cdot$$

$$7 \text{ ps}$$

$$e^{-} + CCl_{4} \rightarrow Cl^{-} + CCl_{3} \cdot$$

$$RH^{+*} \cdot + TEA \rightarrow$$

$$RH^{+} \cdot + TEA \rightarrow$$

Analysis by diffusion theory (Smoluchowski eq.)

カチオンラジカルの励起状態?

Characteristic of excited cation radical of n-dodecan

	Excited cation radical	Cation radical
Lifetime	7 ps	stable
Reaction rate with TEA [M ⁻¹ s ⁻¹]	3.3 x 10 ¹¹	2.0 x 10 ¹⁰ <i>Diffusion controlled</i>
Short lifetime: ps		
High reactivity		

High mobile?

Time-dependent behavior of electron and cation radical in femtosecond pulse radiolysis of n-dodecane



ナノ空間内の放射線化学反応



ナノ空間内の放射線化学反応



次世代ナノファブリケーション



量子ビーム誘起超高速過程の例



(関連分野) ナノテクノロジー新規材料開発放射線耐性



(関連分野)原子力生体、がん治療

3. アト秒ビーム応用

アト秒バンチによる集団電離 (コヒーレントイオン化)

アト秒電子ビームの発生



アト秒電子ビームの発生(シミュレーション)

LET (Linear Energy Transfer)

 $LET = \frac{dE}{dx}$

電子ビームでは、0.2eV/nm (広いエネルギー範囲で) N個の電子から成るバンチは、

バンチ長が、このバンチが引き起こす現象の特性長 より小さければ、あたかも電荷 Ne の巨大粒子であ るかのように振る舞う。



Ne個の電子

相対論的イオンビームの阻止能に対するベーテの式

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi Z^2 e^4}{mv^2} N_t Z_t \left(\log \left[\frac{2mv^2 \gamma^2}{E_0} \right] - \beta^2 \right).$$

Z イオン電荷, $N_t Z_t$ 標的の密度と電荷

もし N 電子を持つバンチのサイズがイオン程度に小さければ,標的にとってバンチは電荷 Z の巨大粒子のようにみえる.

阻止能は $Z^2=N^2$ に比例する.

入射したバンチの平均エネルギーの標的中の時間変化

バンチ長依存性 $n_e = 8.47 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$, $c/\omega_p \sim 18 \text{ nm}$, $1/\omega_p \sim 60 \text{ as}$



Collective effect of attosecond electron pulse





放射線照射効果の初期過程の解明が進 んでいる。ナノ空間における超高速反 応が起きており、今後、プロセス等に 影響を与える。

アト秒の電子線は、イオンビームを超 える効果を、プロセスに与える可能性 がある。