

文章编号: 1000-7032(2011)11-1120-06

用于 GaAs 太阳能电池的 NaYF₄ 中 Tb³⁺-Er³⁺ 耦合对的光谱转换

刘春旭, 王鹏程, 骆永石, 王立军*

(中国科学院 激发态物理重点实验室 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 观测到一种以 Tb³⁺-Er³⁺ 进行光谱转换的量子剪裁现象。一个高能紫外光子 (Tb³⁺ 的 ⁷F₆ → ⁵L₁) 被量子剪裁成两个低能光子: 一个是近红外光子 (Er³⁺ 的 ⁴I_{9/2} → ⁴I_{15/2}), 另一个是蓝色光子 (Tb³⁺ 的 ³D₄ → ⁷F₆) , 它们两个都可以被 GaAs 太阳能电池有效地吸收。量子剪裁效率高达 188% 接近理论极限的 200%。从 Tb³⁺ (⁵L₁ → ⁵D₄) 到 Er³⁺ (⁴I_{15/2} → ⁴I_{9/2}) 的能量传递的能量失配是 237 cm⁻¹ , 比 NaYF₄ 中的声子能 400 cm⁻¹ 小, 能量传递是近共振的。Tb³⁺ 施主间的能量迁移可以近似地用扩散模型处理, 从 Tb³⁺-Er³⁺ 对之间能量传递的初始过程发现, 偶极-偶极相互作用占主导地位。

关键词: Tb³⁺-Er³⁺ 耦合对; 光谱转换; 量子剪裁; 量子效率

中图分类号: O482.31

PACS: 78.55.Hx

PACC: 7855H

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20113211.1120

1 引 言

虽然太阳蕴藏丰富能量, 但是只有一小部分能被人类直接利用。这个巨大差距归因于太阳能转换器件的高造价和低转换效率^[1]。转换中大于 70% 的能量损耗是由于入射太阳光子能量与太阳能电池的基质能隙间的光谱失配^[2-3]: 比带隙能量低的光子不能被吸收, 而能量超过带隙的光子产生“过热”电子和空穴 (hot electron and hole)^[4]。过热电子的能量分布遵循 Maxwell-Boltzman 模型: $N = N_0 \exp(-E/kT_{\text{eff}})$, 其中 T_{eff} 是过热电子在导带中的有效温度。在热载流子的快速热化过程中, 有效温度最终趋于晶格温度, 多余能量作为热量被损失。

解决光谱失配有两种方法: 上转换和下转换 (Downconversion, DC), 或称为量子剪裁 (Quantum cutting)。DC 定义为“剪裁”一个高能光子成两个较低能量的光子, 两者都可以被太阳能电池吸收。这个过程可以减小与吸收高能光子后产生的热载流子热化相关的能量损耗。在 50 年以前,

Dexter 提出这种量子效率可大于 1^[5]。用下转换提高太阳能电池的效率由 Trupke 在 2002 年实现^[6]。Vergger 在 2005 年首次实验观察到用于太阳能电池的下转换现象, 通过从 Tb³⁺ 到 Yb³⁺ 的合作能量传递实现量子剪裁^[7]。c-Si 太阳能电池的带隙是 1.12 eV (1100 nm), 接近于 Yb³⁺ 的 ²F_{7/2}-²F_{5/2} 发射 (1000 nm)。因此, Yb³⁺ 是用于 c-Si 太阳能电池的理想 DC 受主材料。Tb³⁺-Yb³⁺^[8-9]、Tm³⁺-Yb³⁺^[10-12]、Pr³⁺-Yb³⁺^[10, 13-15]、Er³⁺-Yb³⁺^[16] 和 Nd³⁺-Yb³⁺^[17-18] 等离子对都相继得到了详细的研究。

空气品质因数用于表征穿过大气后的太阳光谱。系数被定义为太阳辐射路径长度 l 与大气厚度 l_0 的比, 即 l/l_0 。它通常被用于表征太阳能电池在标准条件下的表现, 表示为“AM”加一个数字。因此人们期望 DC 能提供较小的品质因数来最大程度地利用太阳辐射, 特别对外层空间太阳辐射 (空气品质因数 AM0) 和扩散层空间太阳辐射 (空气品质因数 AM1.5G)^[2]。基于 GaAs ($E_g = 1.43 \text{ eV}$, $\sim 867 \text{ nm}$) 的太阳能电池有高的转换效

收稿日期: 2011-05-13; 修订日期: 2011-07-22

基金项目: 国家自然科学基金 (61077025, 10904140, 10774142, 60308008) 资助项目

作者简介: 刘春旭 (1973-), 女, 吉林公主岭人, 主要从事纳米发光材料的研究。

E-mail: cxliu@ciomp.ac.cn, Tel: (0431) 86176337.

*: 通讯联系人; E-mail: wangljciomp@yahoo.cn

率(32%)和抗宇宙射线的特性,可为太空中卫星和其它空间飞行器等提供动力。在外层空间太阳紫外辐射比地球表面更强,若剪裁一个高能 UV 光子($\lambda_{ex} = 294 \text{ nm}$)成两个更低能量光子,一个在近红外 $\lambda_1 = 800 \text{ nm}$,另一个是蓝色在 $\lambda_2 = 470 \text{ nm}$,可减小 GaAs 太阳能电池中由热化作用而产生的能量损耗,提高转换效率。

六角氟钇钠 NaYF₄ (NYF) 是迄今最有效的绿色(Yb³⁺/Er³⁺ 掺杂)和蓝色(Yb³⁺/Tm³⁺ 掺杂)上转换发光粉的基质材料。最近,NYF 也被证明是好的下转换基质材料。氟化物晶体比氧化物晶体具有更小的声子能,NYF 中最大的声子能是 $\sim 400 \text{ cm}^{-1}$ [16]。本文报道了 NaYF₄ 中 Tb³⁺-Er³⁺ 对的有效量子剪裁,从 Tb³⁺ 的 ⁵L₁ 能级通过能量传递到 Er³⁺ 离子发生的 DC 的量子效率 $\eta_{QE} = 188\%$ 接近理论极限的 200%。偶极-偶极相互作用机制支配 Tb³⁺-Er³⁺ 对间的作用。实验和计算表明施主 Tb³⁺ 间的能量迁移动力学可以被扩散限制模型很好地描述。NYF 中的 Tb³⁺-Er³⁺ 对的能量传递效率高达 88%。

2 实 验

用 Sunlight 光参量振荡(OPO)激光器作激发光源。用具有 R955 光电倍增管的 JY TRIAX 550 单色仪探测发射光谱,TDS 3052 数字荧光示波器记录发光衰减曲线。寿命测量中,在 Tb³⁺ 的 ⁷F₆ → ⁵L₁ (294 nm) 激发下,监测施主 Tb³⁺ 发射 470 nm (⁵D₄ → ⁷F₆)。发光和衰减信号用 Boxcar Averager (Model 162) 处理。为了研究 Tb³⁺-Er³⁺ 离子对的转换效率和 DC 的机制,用类似于文献[15]描述的固态方法制备一系列微晶 NYF: 1% Tb³⁺, $x\%$ Er³⁺ ($x = 0, 1, 2, 3, 5$) 样品。将粉末氟化物 NaF (0.15 mol)、TbF₃ (摩尔分数为 1%)、ErF₃ (摩尔分数为 $x\%$, $x = 0, 1, 2, 3, 5$) 和一定量的 YF₃ 混合,并在研钵中仔细研磨。与文献[15]不同的是样品是在氮气气氛下制备,加热的温度在 650 ~ 950 °C 之间,并加入少许 NH₄F。

3 结果与讨论

Tb³⁺-Er³⁺ 对的能级图和量子剪裁机制如图 1 所示。在 Tb³⁺ 的 ⁷F₆ → ⁵L₁ (294 nm) 激发下,⁵L₁ 态的去布居可以通过共振能量传递 Tb³⁺ (⁵L₁ → ⁵D₄,

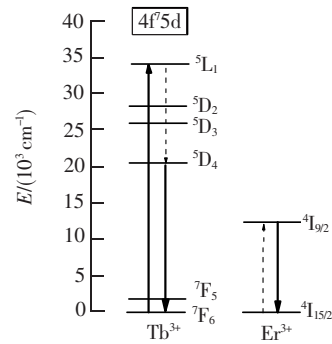


图 1 Tb³⁺-Er³⁺ 耦合对的能级和量子剪裁机制示意图
Fig. 1 Energy levels and quantum cutting mechanism of Tb³⁺ and Er³⁺

$12\ 737 \text{ cm}^{-1}$) → Er³⁺ (⁴I_{15/2} → ⁴I_{9/2}, $12\ 500 \text{ cm}^{-1}$) 进行,⁵D₄ 作为中间能级。这个过程产生两个光子,分别为 800 nm 和 470 nm。

图 2 给出了在相同条件下制备的 5 个样品的发射光谱,光谱对仪器响应作了修正。激发波长为 294 nm 时,在不掺杂 Er³⁺ 的样品中无量子剪裁过程产生 ⁵D₄ 的发射比掺杂 Er³⁺ 的样品中弱。在共掺杂的 NYF: 1% Tb³⁺, $x\%$ Er³⁺ ($x = 1, 2$) 的发射光谱中观测到了 Er³⁺ 的 ⁴I_{15/2} → ⁴I_{9/2} 强发射,表明在 Tb³⁺ 的 ⁷F₆ → ⁵L₁ 激发下,存在 Tb³⁺ → Er³⁺ 的有效能量传递。从图中还可以看到 Er³⁺ 的 ⁴I_{9/2} → ⁴I_{15/2} 的强度随着 Er³⁺ 浓度的增加 ($x = 3, 5$) 而逐渐减弱。

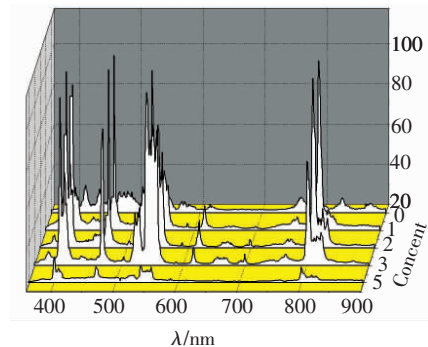


图 2 NYF: 1% Tb³⁺, $x\%$ Er³⁺ ($x = 0, 1, 2, 3, 5$) 的发射光谱。

Fig. 2 Emission spectra for NYF: 1% Tb³⁺, $x\%$ Er³⁺ ($x = 0, 1, 2, 3, 5$).

在图 3 中给出了在 Tb³⁺ 的 ⁷F₆ → ⁵L₁ (294 nm) 激发下,施主 Tb³⁺ 的 470 nm (⁵D₄ → ⁷F₆) 发射的发光衰减曲线,对应于 NYF: 1% Tb³⁺ 共掺杂摩尔分数为 0%、1%、2%、3%、5% 的 Er³⁺。它们的非指数特征都归因于 Er³⁺ 受主在 Tb³⁺ 周围分布距离的变化。

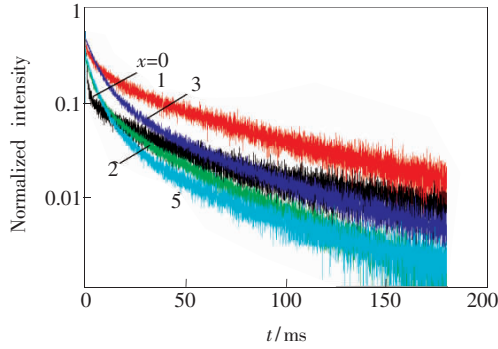


图 3 样品 NaYF₄:1% Tb³⁺, x% Er³⁺ (x=0, 1, 2, 3, 5) 中 Tb³⁺ ⁵D₄→⁷F₆ 470 nm 跃迁的衰减曲线。

Fig. 3 Luminescence decay curves of the Tb³⁺ ⁵D₄→⁷F₆ transitions at 470 nm in NaYF₄:1% Tb³⁺, x% Er³⁺ (x=0, 1, 2, 3, 5).

施主 D 和受主 A 之间的相互作用可以用能量传递微观参数 C_D 和 C_{DA} 描述^[19-22]。一个短脉冲激发后,能量传递 D→A 有两个可能途径:

(1) 静止无序衰减(对应于直接 D-A 相互作用),

$$I(t) = I(0) \exp \left[-t/\tau_0 - \sum_{s=6,8,10} \alpha_s \gamma^{(s)} t^{3/s} \right], \quad (1)$$

其中 I(t) 代表在时间 t 时的光强; τ₀ 代表在没有受主的样品中施主的辐射寿命; s 是数值系数,代表不同多极子对传递几率的贡献; γ^(s) 可表示为

$$\gamma^{(s)} = \frac{4}{3} \pi N_A \Gamma(1 - 3/s) [C_{DA}^{(s)}]^{s/3}, \quad (2)$$

其中 Γ(x) 是伽玛函数。这个依赖于多极-多极相互作用的无序衰减可以被表征, γ⁽⁶⁾ (偶极-偶极)、γ⁽⁸⁾ (偶极-四极) 和 γ⁽¹⁰⁾ (四极-四极) 是其中几个主要参数。在我们的情况下,与偶极-偶极相互作用相比,偶极-四极及四极-四极耦合的贡献可以忽略,因此

$$\ln [I(t) / I(0)] + t/\tau_0 = -\gamma^{(6)} t^{1/2}, \quad (3)$$

其中

$$\gamma^{(6)} \equiv \gamma_{dd} = \frac{4}{3} \pi^{3/2} N_A (C_{DA})^{1/2}, \quad (4)$$

N_A 是受主个数。如图 3 所示,衰减曲线开始部分用式(3)拟合较准确,即当 s=6 时更准确。因此,能量传递 D-A 是偶极-偶极相互作用为主。图 4 给出实验测量的函数 ln [I(t) / I(0)] + t/τ₀ 与 t^{1/2} 的函数关系 (t^{1/2} < 0.006), 其中 τ₀ = 46.19 μs 是施主 Tb³⁺ 在没有掺杂受主的样品中的衰减时

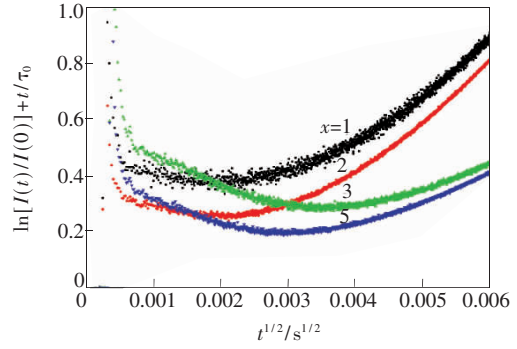


图 4 实验测得的函数 ln [I(t) / I(0)] + t/τ₀ 与 t^{1/2} 的函数关系 (t^{1/2} < 0.006)。

Fig. 4 Experimentally measured function ln [I(t) / I(0)] + t/τ₀ was plotted versus t^{1/2} for small values of time t^{1/2} < 0.006.

间。用公式(3)拟合图 4 中的衰减曲线的线性部分,可估计出常数 γ_{dd}, 于是用式(2)可计算出参数 C_{DA}。

(2) 受迁移-限制的衰减(对应于激发能通过施主向受主的迁移) 其中

$$I(t) = I(0) \exp [-\Delta - W^* t - t/\tau_0], \quad (5)$$

这里常数 Δ=0 和 W* 是形状参数。W* 的表示主要依赖于比值 Z = C_{DA} / C_{DD}。能量迁移是扩散-限制或跳跃-限制分别对应 Z ≫ 1 或 Z ≪ 1。衰减曲线的初始非指数部分表明能量迁移是扩散-限制的^[22], 即

$$W^{*d} = \frac{1}{3} (4\pi)^2 (1/2)^{3/4} N_A N_D (C_{DA})^{1/4} (C_{DD}^{3/4}), \quad (6)$$

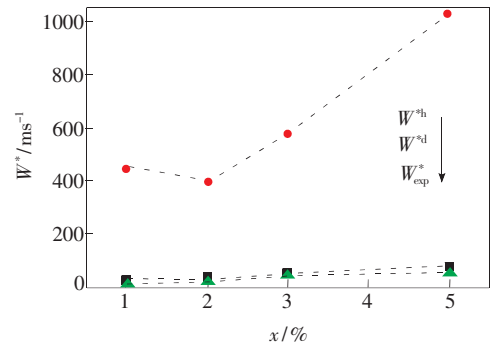


图 5 描述施主能量迁移动力学形状参数 W*^d (方块)、W*^h (圆圈) 和实验值 W*^{exp} (三角) 与受主浓度的关系。

Fig. 5 The shape parameters describing the energy migration dynamics of donor Tb³⁺, W*^d (squares), W*^h (circles) and experimental value W*^{exp} (triangles) for various acceptor concentrations are plotted, respectively.

此外,形状参数对于跳跃机制是

$$W^{*h} = \frac{8\pi^3}{9 \times 2^{1/2}} N_A N_D (C_{DA} C_{DD})^{1/2}, \quad (7)$$

用 C_{DA} 和 W^* 并假设扩散能量迁移,通过解方程(6)可以计算出参数 C_{DD} 。参数 γ_{dd} 、 W^* 、 C_{DA} 和 C_{DD} 的值列于表 1。注意比值 $Z = C_{DA}/C_{DD}$ 是 10^5 量级的,

表 1 能量传递的微观参数和计算值

Table 1 Micro-parameters of energy transfer and the calculated values

$x(\text{Er}^{3+}) /$ %	$\gamma_{dd} /$ $\text{s}^{-1/2}$	$C_{DA} /$ $(\text{m}^6/\text{s}) \times 10^{-48}$	$W_{\text{exp}}^* /$ ms^{-1}	$W^{*d} /$ ms^{-1}	$W^{*h} /$ ms^{-1}	$C_{DD} /$ $(\text{m}^6/\text{s}) \times 10^{-53}$	$\tau / \mu\text{s}$	$\eta_{\text{ET}} /$ %	$\eta_{\text{QE}} /$ %
0							46.19 ± 0.96	0	
1	3 514.5	27.50	2.2	23.05	447.71	0.127	41.92 ± 0.22	76	176
2	3 072.7	5.26	14.6	30.48	391.67	1.09	27.58 ± 0.08	88	188
3	4 463.1	4.94	38.4	45.01	569.35	2.35	16.64 ± 0.06	24	124
5	8 090.1	5.84	48.9	78.22	1 031.70	1.55	14.18 ± 0.07	63	163

能量传递效率 η_{ET} 被定义为通过能量传递到受主去布居的施主数与激发的施主总数的比值。用 Er^{3+} 、 Tb^{3+} 共掺杂的 NYF 中 Tb^{3+} 的平均寿命除以不掺杂 Er^{3+} NYF 中 Tb^{3+} 的寿命,可以获得作为 Er^{3+} 浓度的函数的传递效率^[7]:

$$\eta_{\text{ET}} = 1 - \frac{\int I_x dt}{\int I_0 dt}, \quad (8)$$

其中 x 代表 Er^{3+} 摩尔分数。从拟合结果可以发现当 Er^{3+} 掺杂摩尔分数为 2% 时,传递效率达到最大值 88%。

根据发光衰减曲线,量子效率 η_{QE} 可以用下面的方程估计:

$$\eta_{\text{QE}} = \eta_{\text{Tb}}(1 - \eta_{x\% \text{Er}}) + 2\eta_{x\% \text{Er}}, \quad (9)$$

其中 η_{Tb} 代表 Tb^{3+} 的发光效率,被确定为 1。对于较低的 Er^{3+} 掺杂浓度 ($x \leq 5$), 这个方法是可行的,可以确定 DC 的 η_{QE} 分别是 176%、188%、124%、163%, 分别对应 Er^{3+} 掺杂摩尔分数 $x = 0$,

这支持了 Tb^{3+} 掺杂样品中的能量迁移是扩散-限制迁移的结论。假设 Tb^{3+} 掺杂样品中的能量迁移是跳跃-限制迁移,我们将得出矛盾的结果: 解方程(7)得到 Z 的数量级为 $10^5 \sim 10^7$, 与不等式 $Z \ll 1$ 不一致。这表明在图 5 中, Tb^{3+} 掺杂样品中能量迁移的实验值 W_{exp}^* 接近于扩散-限制。

1 2 3 5 的样品。 η_{QE} 的最大值 188% 接近极限值 200%。这可能出于两个可能原因^[23]: (1) 从 Tb^{3+} 的 $^5L_1 \rightarrow ^5D_4$ ($12\,737\text{ cm}^{-1}$) 到 Er^{3+} 的 $^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ($12\,500\text{ cm}^{-1}$) 能量传递中的能量失配 237 cm^{-1} 小于声子能 400 cm^{-1} , 导致传递接近共振; (2) 无辐射跃迁到缺陷和杂质的能量损失可以忽略。计算和实验结果列于表 1。

4 结 论

制备了一系列微晶样品 NYF: 1% Tb^{3+} , $x\%$ Er^{3+} ($x = 0, 1, 2, 3, 5$), 观测到 NYF 中 Tb^{3+} - Er^{3+} 耦合对的有效量子剪裁。这个结果可提高太阳能电池的能量吸收光谱匹配和增加转换效率。 Tb^{3+} - Er^{3+} 之间的能量传递的初始过程是近似共振的并且由偶极-偶极相互作用控制。NYF 中从 Tb^{3+} 到 Er^{3+} 的能量传递效率 η_{ET} 和量子剪裁效率 η_{QE} 分别为 88% 和 188%, 后者接近理论极限 200%。

参 考 文 献:

- [1] Crabtree G W, Lewis N S. Solar energy conversion [J]. *Phys. Today*, 2007, **60**(3): 37-42.
- [2] Richard B S. Enhancing the performance of silicon solar cells via the application of passive luminescence conversion layers [J]. *Sol. Energy Mater.*, 2006, **90**(3): 2329-2337.
- [3] Van der Ender B M, Aarts L, Meijerink A. Lanthanide ions as spectral converters for solar cells [J]. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2009, **11**(7): 11081-11095.
- [4] Timmerman D, Izeddin I, Stallinga P, et al. Space-separated quantum cutting with silicon nanocrystals for photovoltaic

- applications [J]. *Nature Photonics*, 2008, **2**(2): 105-109.
- [5] Dexter D L. Possibility of luminescent quantum yields greater than unity [J]. *Phys. Rev.*, 1957, **108**(3): 630-633.
- [6] Trupke T, Green M, Würfel P. Improving solar cell efficiency by downconversion of high-energy photons [J]. *Appl. Phys.*, 2002, **92**(3): 1668-1674.
- [7] Vergeer P, Vlugt T, Kox M, et al. Quantum cutting by cooperative energy transfer in $\text{Yb}_x\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{Tb}$ [J]. *Phys. Rev. B*, 2005, **71**(4): 014119-1-11.
- [8] Zhang Q Y, Yang C H, Pan Y X. Cooperative quantum cutting in one-dimensional $(\text{Yb}_x\text{Gd}_{1-x})\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Tb}^{3+}$ nano-rods [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, **90**(2): 021107-1-3.
- [9] Ye S, Zhu B, Chen J, et al. Infrared quantum cutting in Tb^{3+} , Yb^{3+} codoped transparent glass ceramics containing CaF_2 nanocrystals [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, **92**(41): 141112-1-3.
- [10] Lakshminarayana G, Qiu J. Near-infrared quantum cutting in $\text{RE}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ ($\text{RE} = \text{Pr}, \text{Tb}$, and Tm): $\text{GeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-LaF}_3$ glasses via downconversion [J]. *J. Alloys Compd.*, 2009, **481**(2): 582-589.
- [11] Ye S, Zhu B, Luo J. Enhanced cooperative quantum cutting in $\text{Tm}^{3+}\text{-Yb}^{3+}$ codoped glass ceramics containing LaF_3 nanocrystals [J]. *Opt. Express*, 2008, **16**(12): 8989-8994.
- [12] Lakshminarayana G, Yang H, Ye S, et al. Co-operative downconversion luminescence in $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-LiF-GdF}_3$ glasses [J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2008, **41**(17): 175111-1-6.
- [13] Zhang Q Y, Yang G F, Jiang Z H. Cooperative downconversion in $\text{GdAl}_3(\text{BO}_3)_4:\text{RE}^{3+}$, Yb^{3+} ($\text{RE} = \text{Pr}, \text{Tb}$, and Tm) [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, **91**(5): 051903-1-3.
- [14] Chen D, Wang Y, Yu Y, et al. Near-infrared quantum cutting in transparent nanostructured glass ceramics [J]. *Opt. Lett.*, 2008, **33**(16): 1884-1886.
- [15] Van der Ende B M, Aarts L, Meijerink A. Near-infrared quantum cutting for photovoltaics [J]. *Adv. Mater.*, 2009, **21**(1): 4-5.
- [16] Aarts L, Van der Ende B M, Meijerink A. Downconversion for solar cells in $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ [J]. *J. Appl. Phys.*, 2009, **106**(2): 023522-1-3.
- [17] Meijer J, Aarts L, Van der Ende B M, et al. Downconversion for solar cells in $\text{YF}_3:\text{Nd}^{3+}, \text{Yb}^{3+}$ [J]. *Phys. Rev. B*, 2010, **81**(3): 035107-1-9.
- [18] Zhang Q Y, Huang X Y. Recent progress in quantum cutting phosphors [J]. *Progress in Materials Science*, 2010, **55**(5): 353-427.
- [19] Kushida T. Energy transfer cooperative optical transitions in rare-earth doped inorganic materials. III. Dominant transfer mechanism [J]. *J. Phys. Soc. Jpn.*, 1973, **34**(3): 1334-1337.
- [20] Burshtein A I. Energy transfer kinetics in disordered systems [J]. *J. Lumin.*, 1985, **34**(2): 167-188.
- [21] de Vries A J, Minks B P, Blasse G. Evaluation of energy migration in $\text{GdAl}_3\text{B}_4\text{O}_{12}$ [J]. *J. Lumin.*, 1988, **39**(1): 153-160.
- [22] Solovieva N, Nikl M, Nitsch K. Energy migration in the Ce^{3+} -doped Na-Gd phosphate glasses [J]. *Opt. Mater.*, 2007, **30**(1): 113-115.
- [23] Liu Chunxu, Liu Junye, Zhang Jisen, et al. $\text{Tb}^{3+}\text{-Er}^{3+}$ couples as spectral converters in NaYF_4 for GaAs solar cells [J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2011, **44**(14): 145502-145507.

Tb³⁺-Er³⁺ Couples as Spectral Converters in NaYF₄ for GaAs Solar Cells

LIU Chun-xu, WANG Peng-cheng, LUO Yong-shi, WANG Li-jun

(Key Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics,

Fine Mechanics and Physics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to reduce thermal loss due to spectral mismatch of the solar cell absorption, the quantum cutting with Tb³⁺-Er³⁺ couples as spectral converters is experimentally observed. One high energy ultraviolet photon (⁷F₆→⁵L₁ of Tb³⁺) is quantumly cut into two lower energy photons: one is in near-infrared (⁴I_{9/2}→⁴I₁₅ of Er³⁺) and the other in blue region (⁵D₄→⁷F₆ of Tb³⁺), both of which can be efficiently absorbed by solar cells. A quantum efficiency, η_{QE} of up to 188% is calculated which is close to the theoretical limit of 200%. The energy mismatch in the energy transfer from Tb³⁺ (⁵L₁→⁵D₄) to Er³⁺ (⁴I_{9/2}→⁴I_{15/2}) is 237 cm⁻¹, less than a phonon energy of 400 cm⁻¹ in NaYF₄, making the energy transfer nearly resonant. The energy migration among Tb³⁺ donors is treated approximately by the diffusion model and the initial process of energy transfer among the Tb³⁺-Er³⁺ couples is found to be dipole-dipole interactions.

Key words: Tb³⁺-Er³⁺ couples; spectral converters; quantum cutting; quantum efficiency

CLC number: O482.31 **PACS:** 78.55.Hx **PACC:** 7855H **Document code:** A

DOI: 10.3788/fgxb20113211.1120

Received date: 2011-05-13

《发光学报》成为美国《EI》收录源期刊

2010年3月25日,《发光学报》接到EI中国信息部通知:从2010年第1期起正式被《EI》(《工程索引》)收录为刊源。

EI作为世界领先的应用科学和工程学在线信息服务提供者,是全世界最早的工程文摘来源,一直致力于为科学界和工程技术人员提供最专业、最实用的在线数据、知识等信息服务和支持。《发光学报》进入EI收入系统,对加强我国发光学研究领域及论文作者开展更广泛的国内外交流,提升我国技术人员学术声誉具有积极的促进作用。

《发光学报》由中国物理学会发光分会、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办,徐叙瑗院士和范希武研究员任名誉主编,申德振研究员担任主编。《发光学报》自1980年创刊以来,业内专家的大力支持下,得到了健康、快速的发展。《发光学报》2010年度影响因子为1.12,已成为我国物理学领域有较大影响的学术刊物。

《发光学报》能够进入《EI》,是国际社会对工作在发光学科研领域里的我国科学工作者学术水平的认可,是对长春光机所主办期刊的认可。《发光学报》成为《EI》源期刊后,将获得更好的办刊平台,为将《发光学报》办成有特色的精品期刊创造了良好的条件。