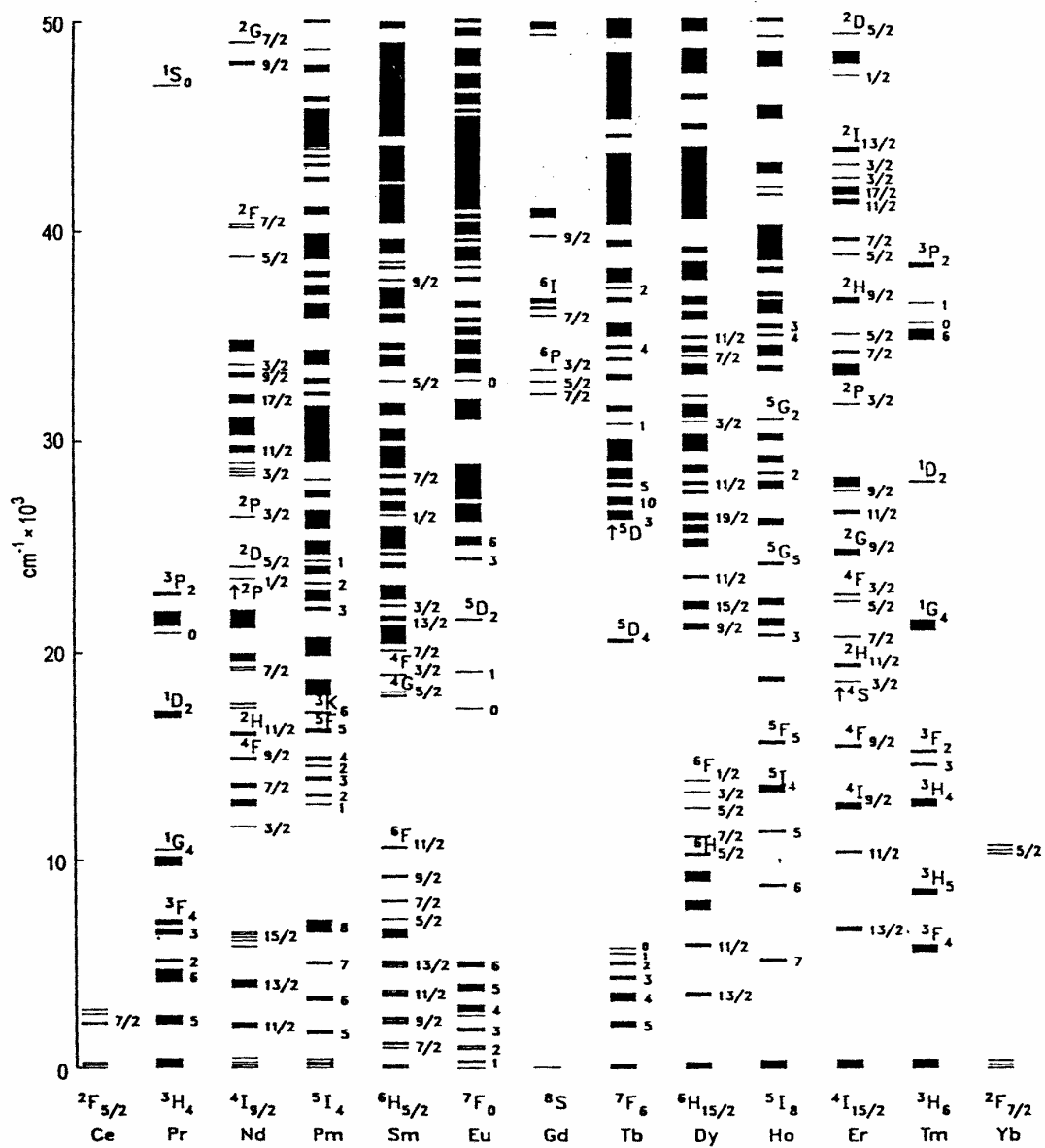
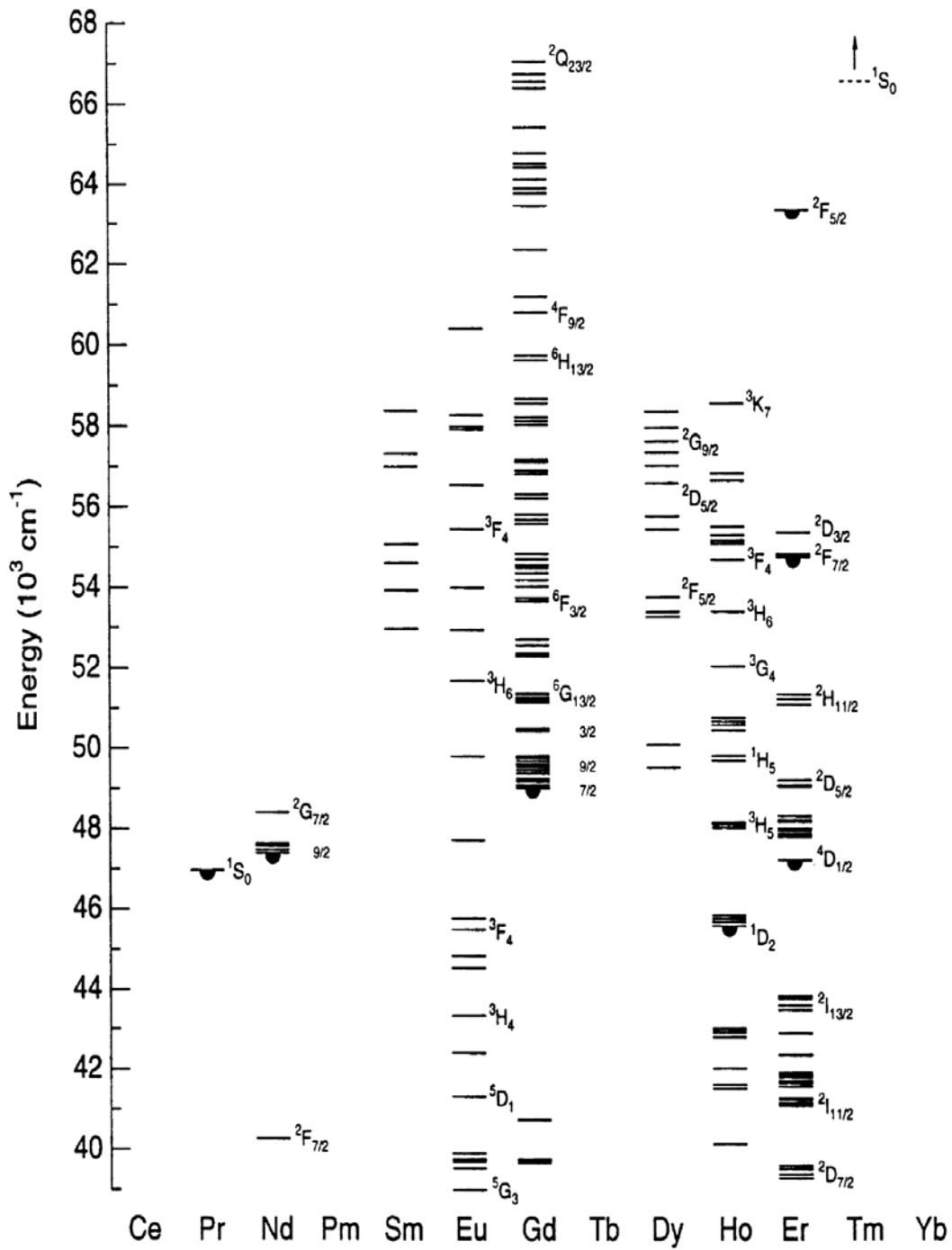


圖一 LaCl_3 主體晶格中三價鐳系離子波數範圍 $0-42,000(\text{cm}^{-1})$ 之 $4f^n$ 能階

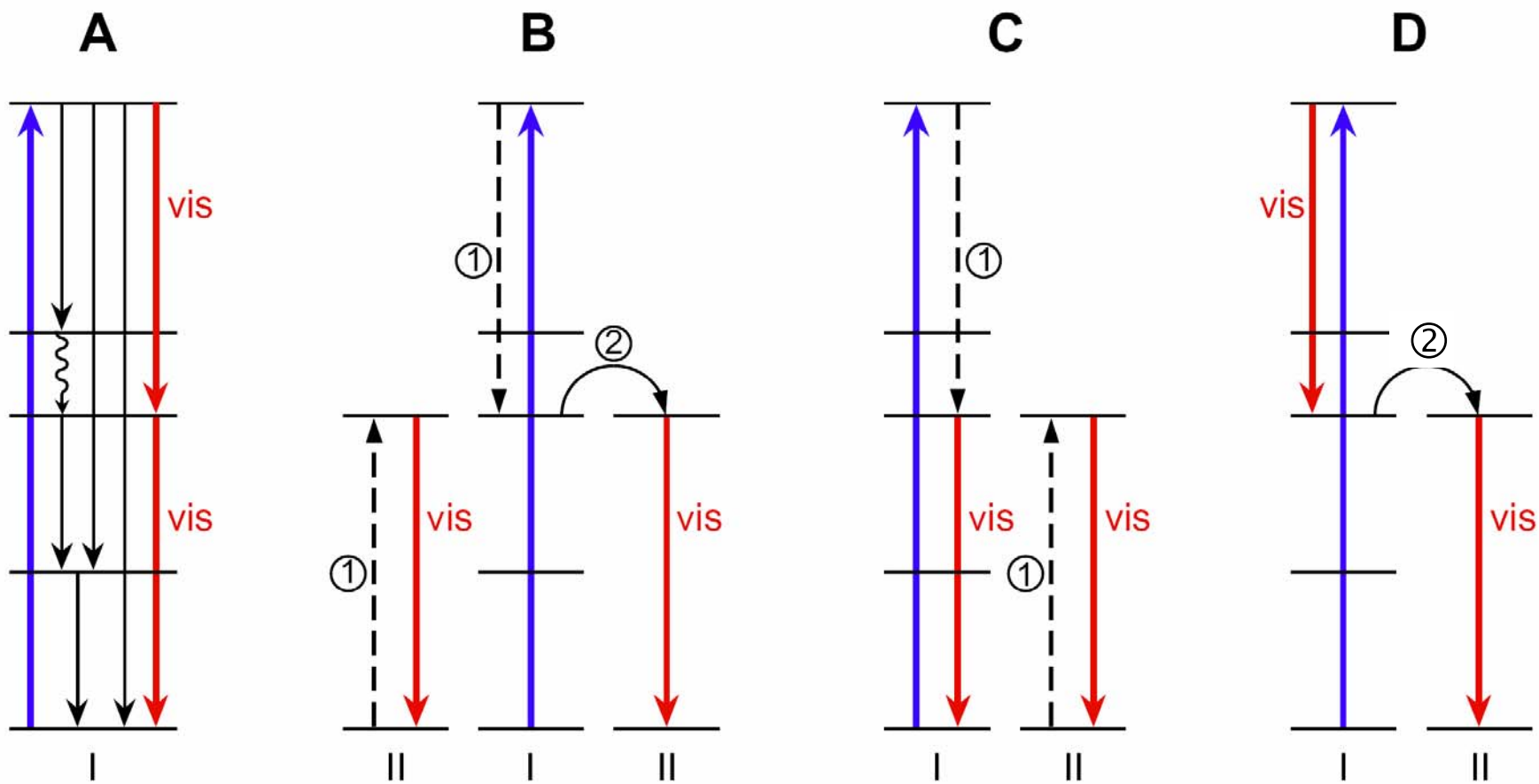
圖譜(又稱為Dieke diagram)^[8]



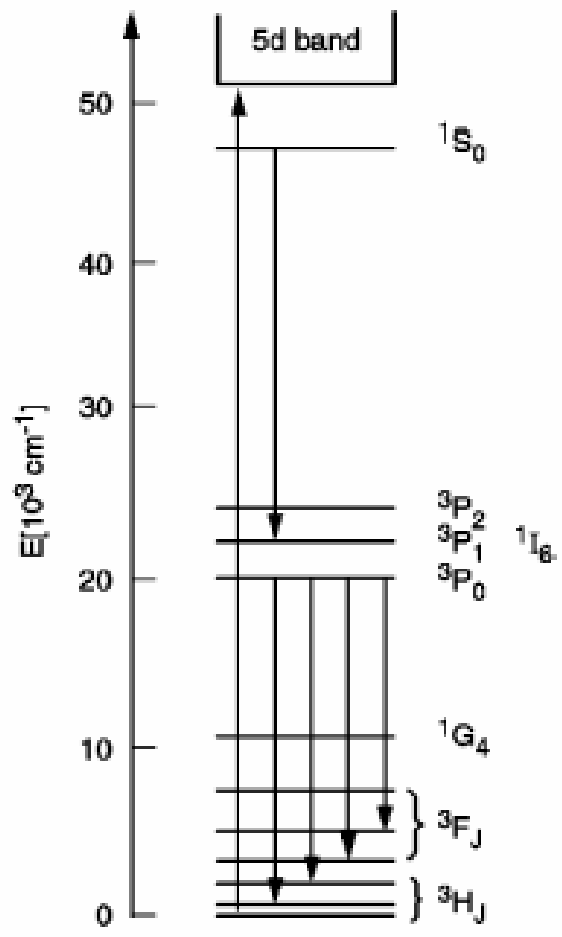
圖二 LaF₃主體晶格中三價鑷系離子的4fⁿ能階圖譜，能量範圍擴展到50,000 cm⁻¹[9]



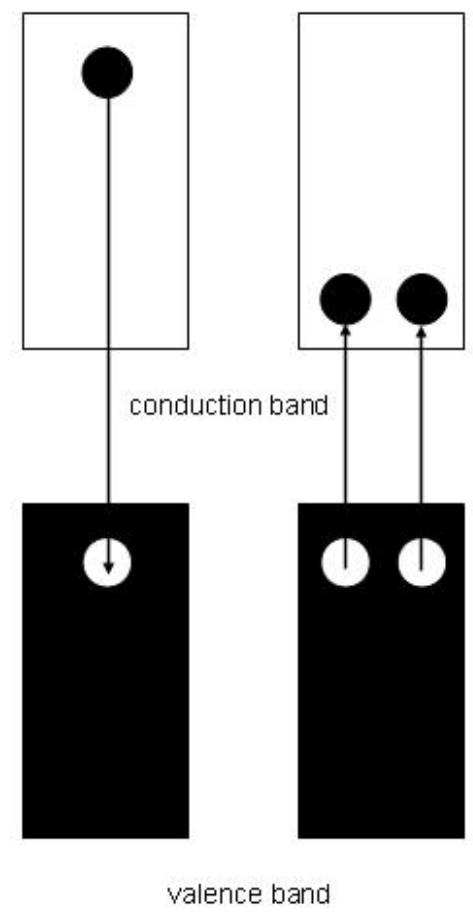
圖三 Extended Dieke's diagram : LiYF₄主體晶格中三價鑷系離子的
4fⁿ能階圖譜，能量範圍擴展到70,000 cm⁻¹[13]



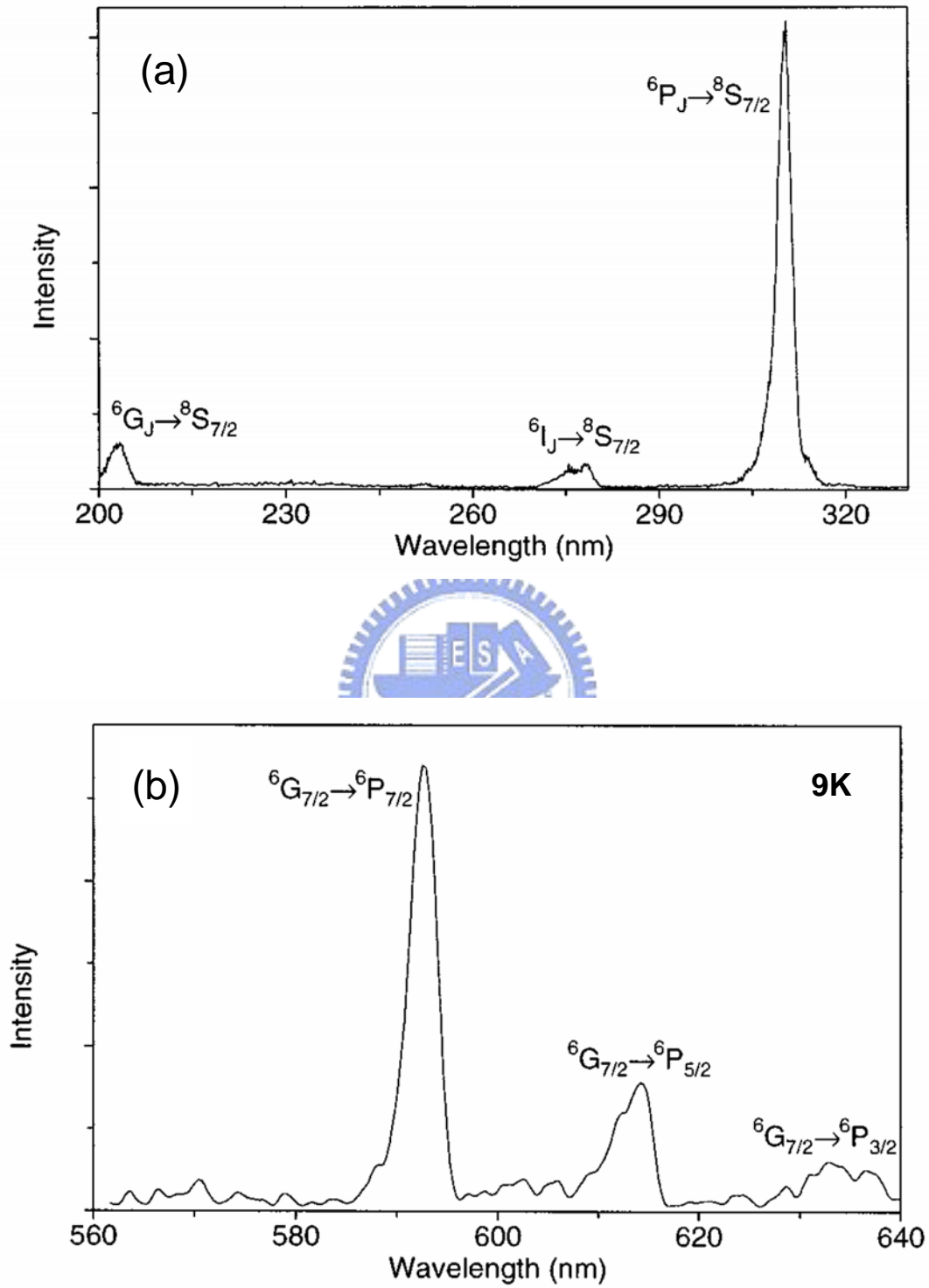
圖四 具量子剪裁效應的化合物可能有的四種發光機制示意圖^[19]



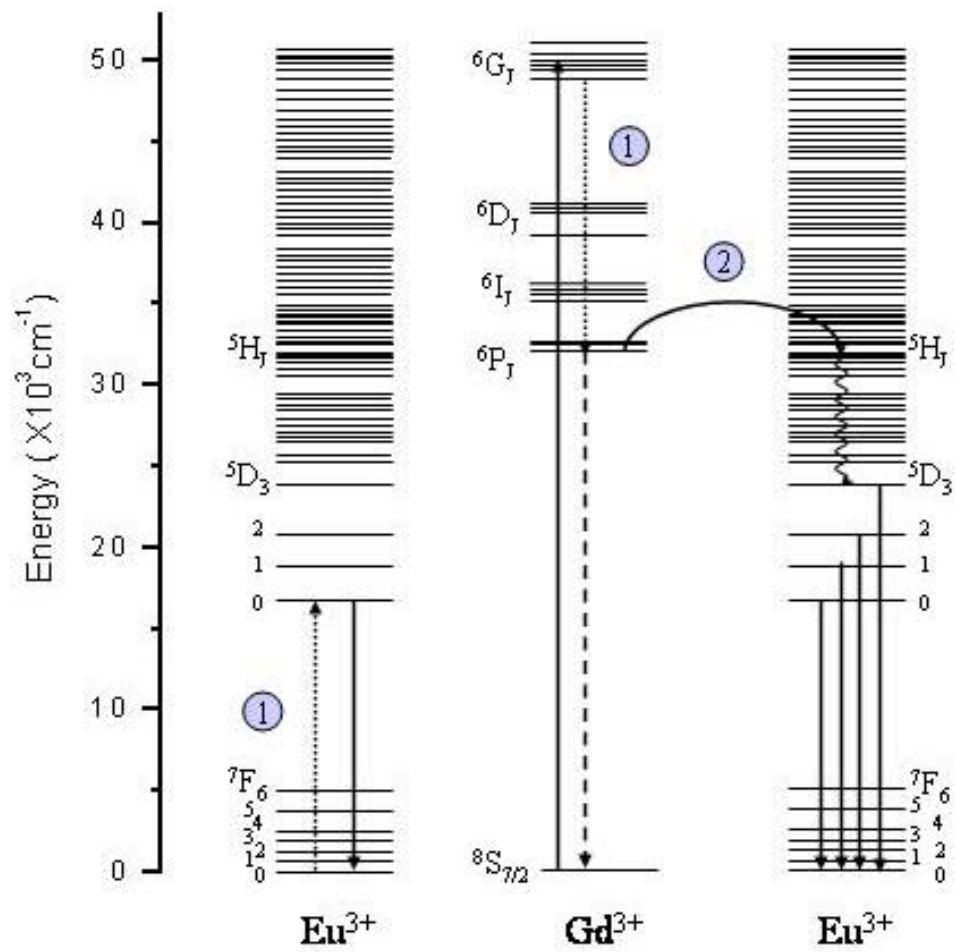
圖六 YF₃:Pr³⁺ 化合物之 cascade process 示意圖^[14, 15]



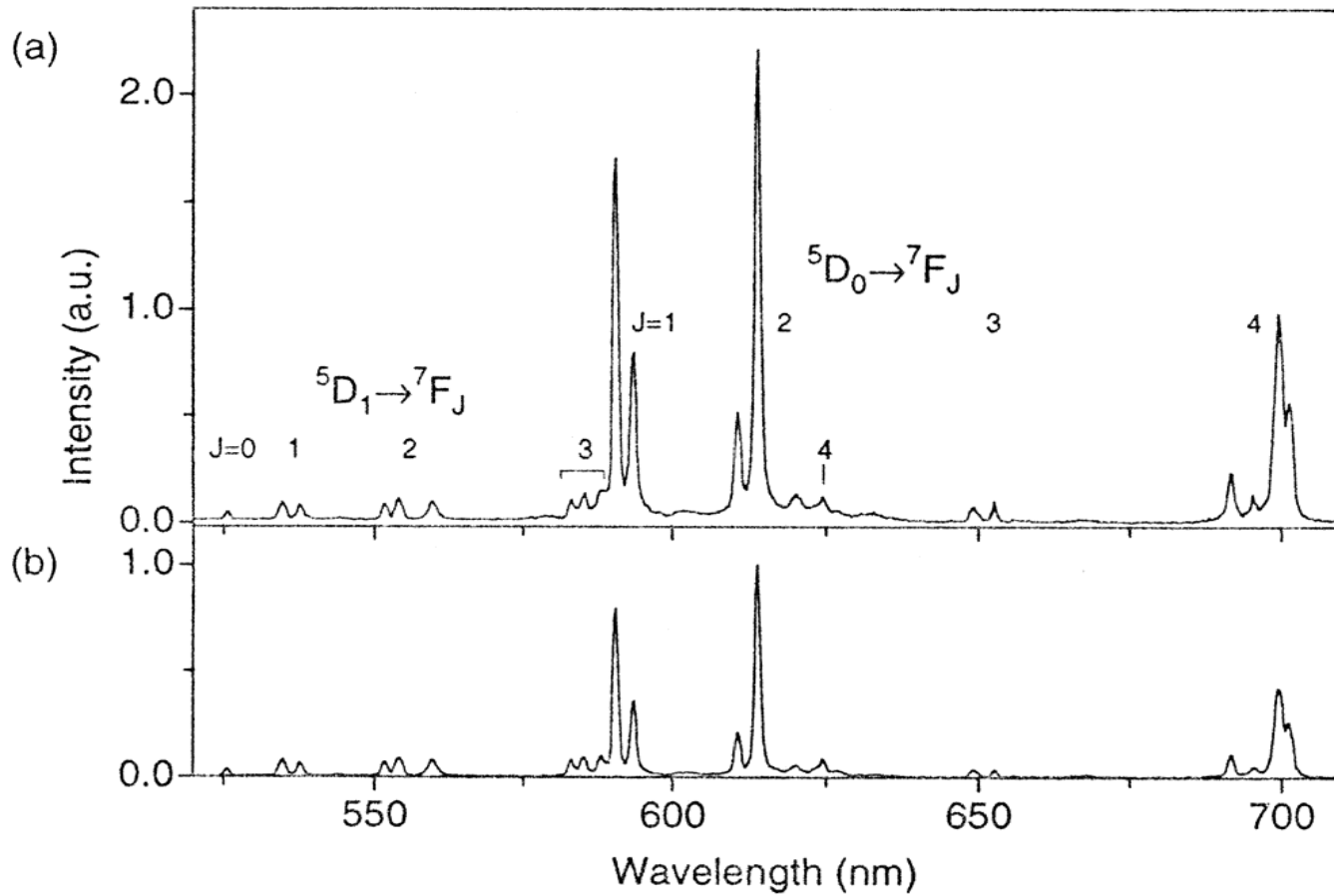
圖七 藉 Auger processes 產生兩電子-電動對示意圖^[26]



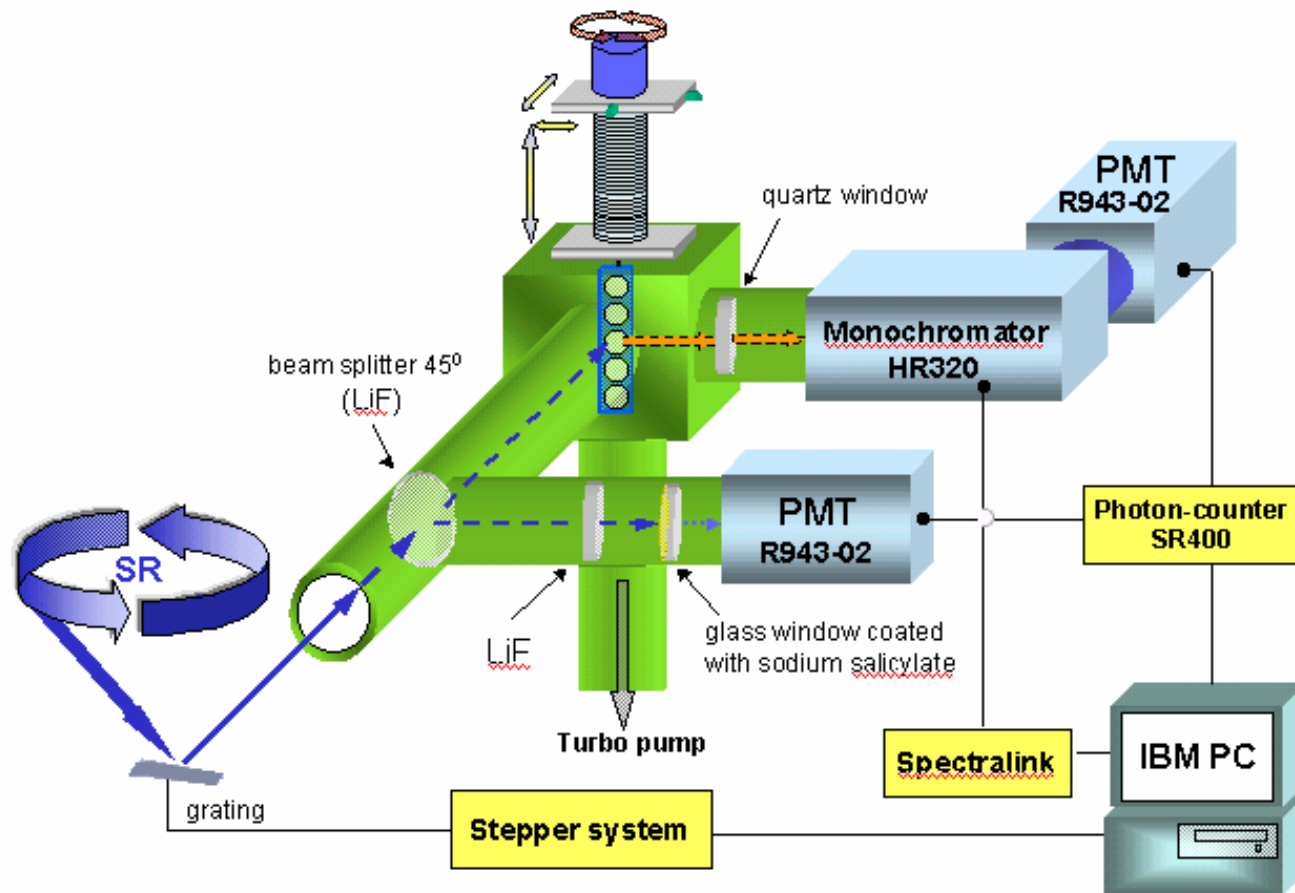
圖八 $\text{LiYF}_4:\text{Gd}^{3+}$ 之放射光譜圖：(a)300 K 與 (b)9 K ($\lambda_{\text{ex}} = 194.7 \text{ nm}$)^[17]



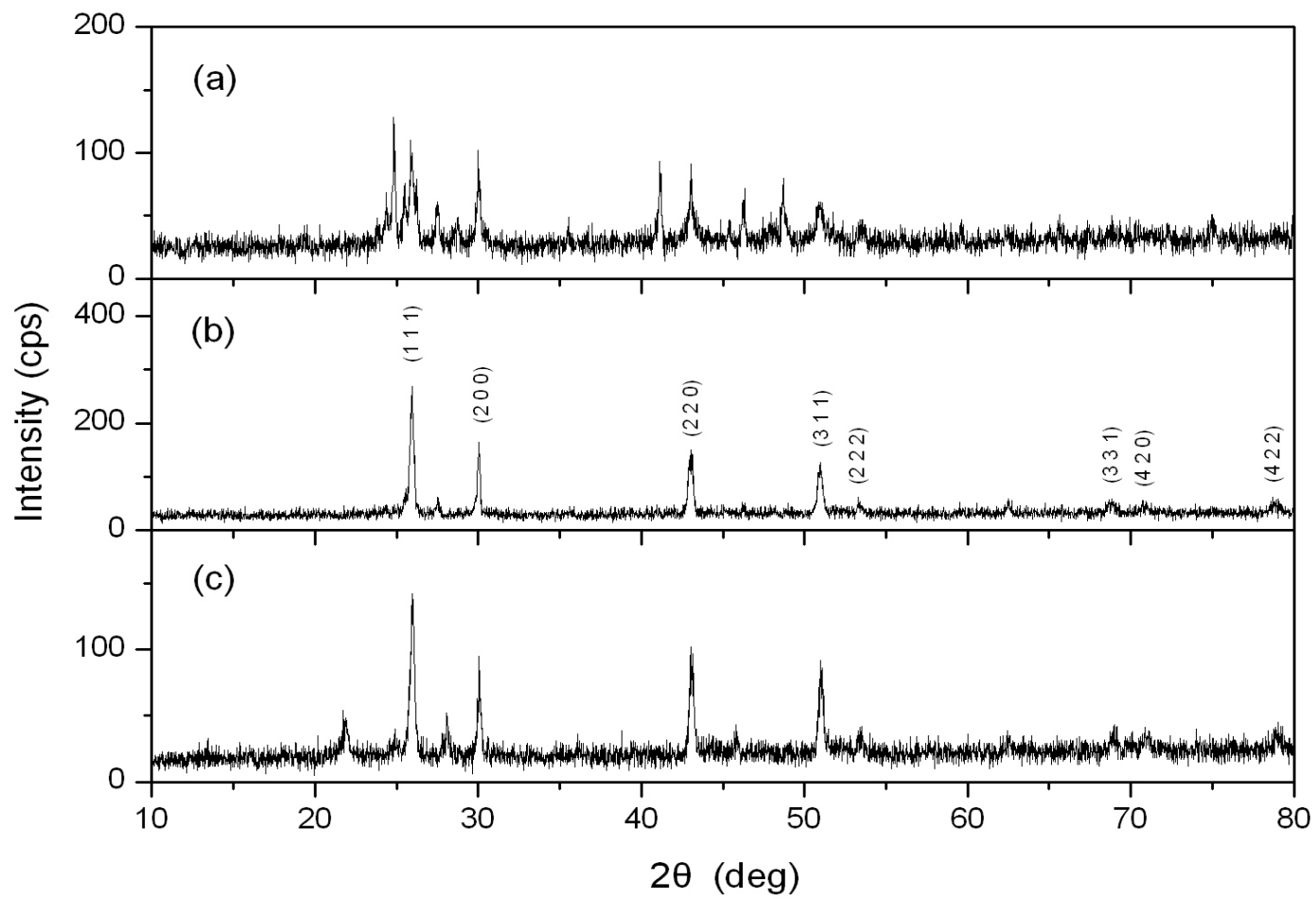
圖九 Gd^{3+} - Eu^{3+} 組合之量子剪裁機制示意圖^[19,20]



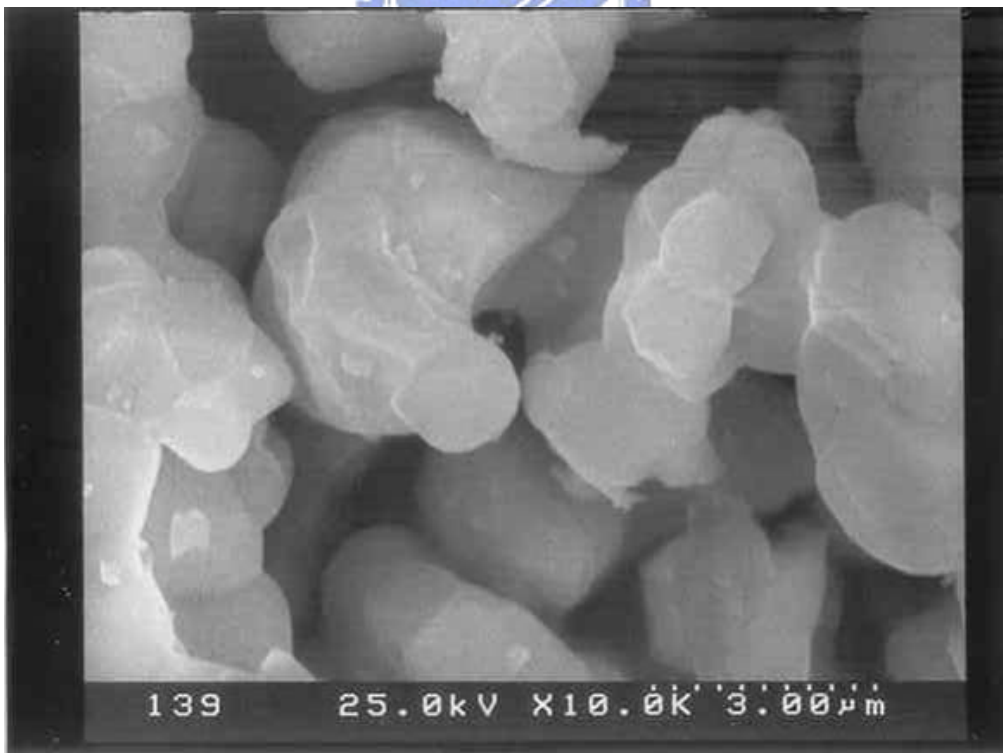
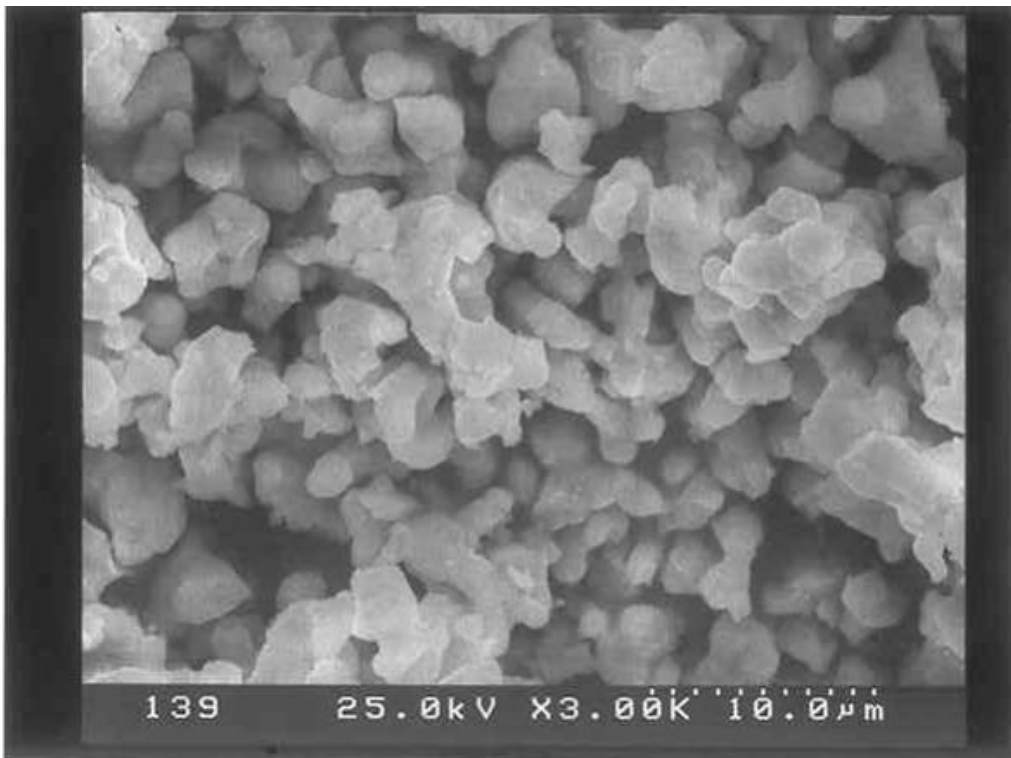
圖十 $\text{LiGdF}_4:\text{Eu}^{3+}$ (0.5mol%)之放射光譜圖^[19,20]：(a)以波長202 nm激發 $\text{Gd}^{3+} {}^8\text{S}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{G}_J$ 躍遷；
 (b)以波長273 nm激發 $\text{Gd}^{3+} {}^8\text{S}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{I}_J$ 躍遷 (以 ${}^5\text{D}_1 \rightarrow {}^7\text{F}_J$ 躍遷為歸一化基準)



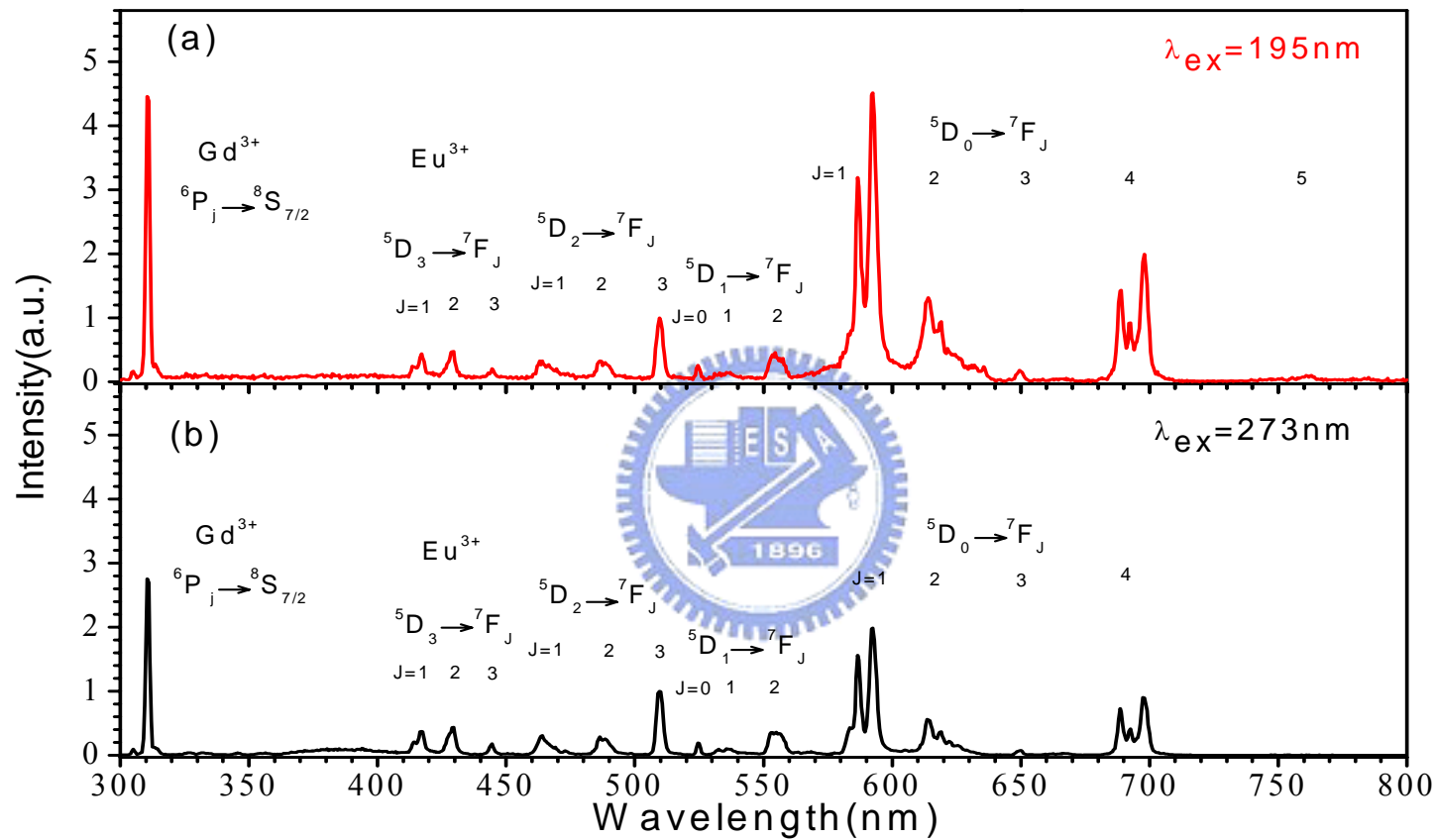
圖十一 真空紫外光譜儀實驗裝置示意圖^[30]



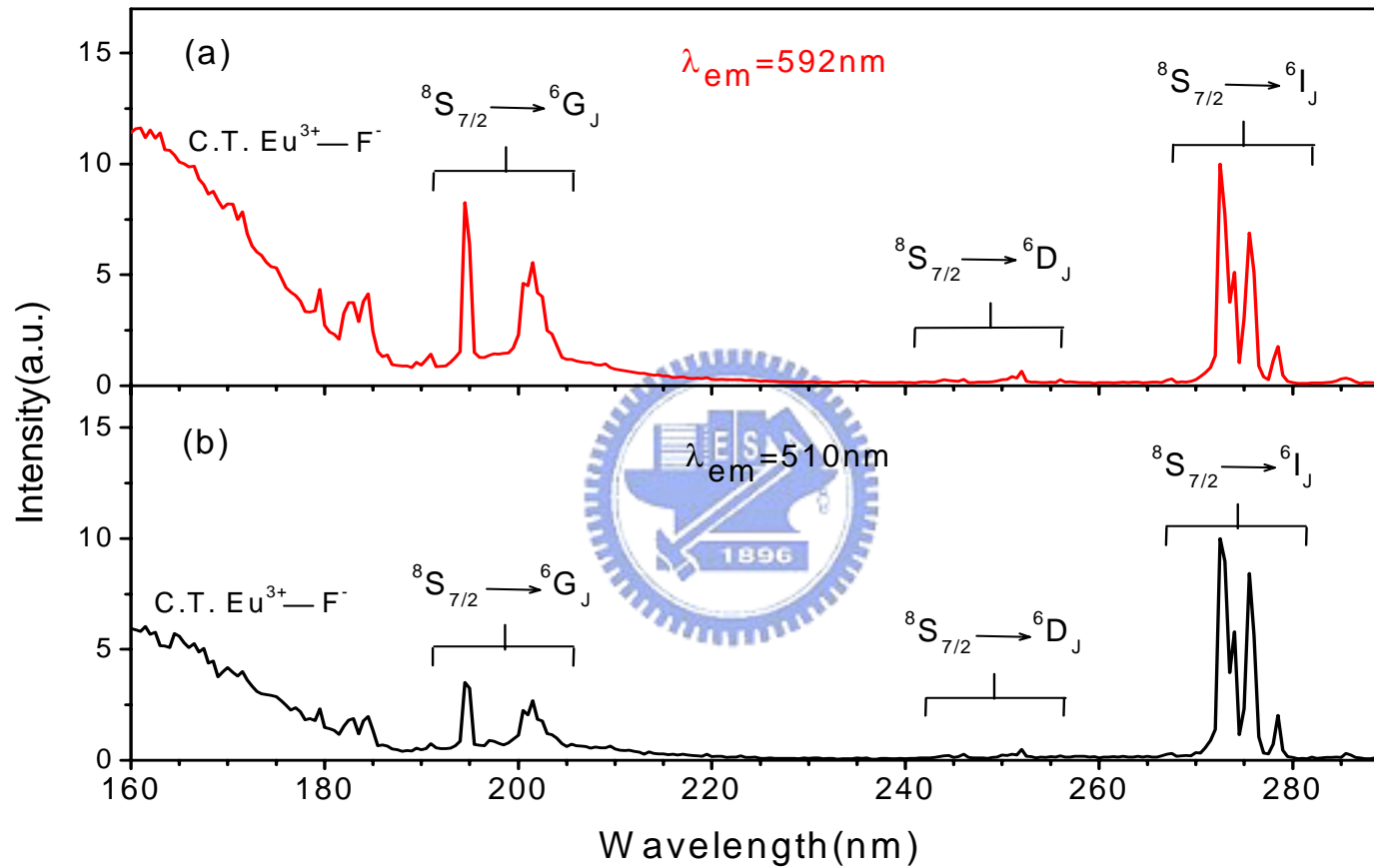
圖十二 不同溫度所合成 BaGdF₅ XRD 圖譜之比較：(a)700°C；(b)800°C；(c)900°C



圖十三 BaGdF₅ 之 SEM 影像圖

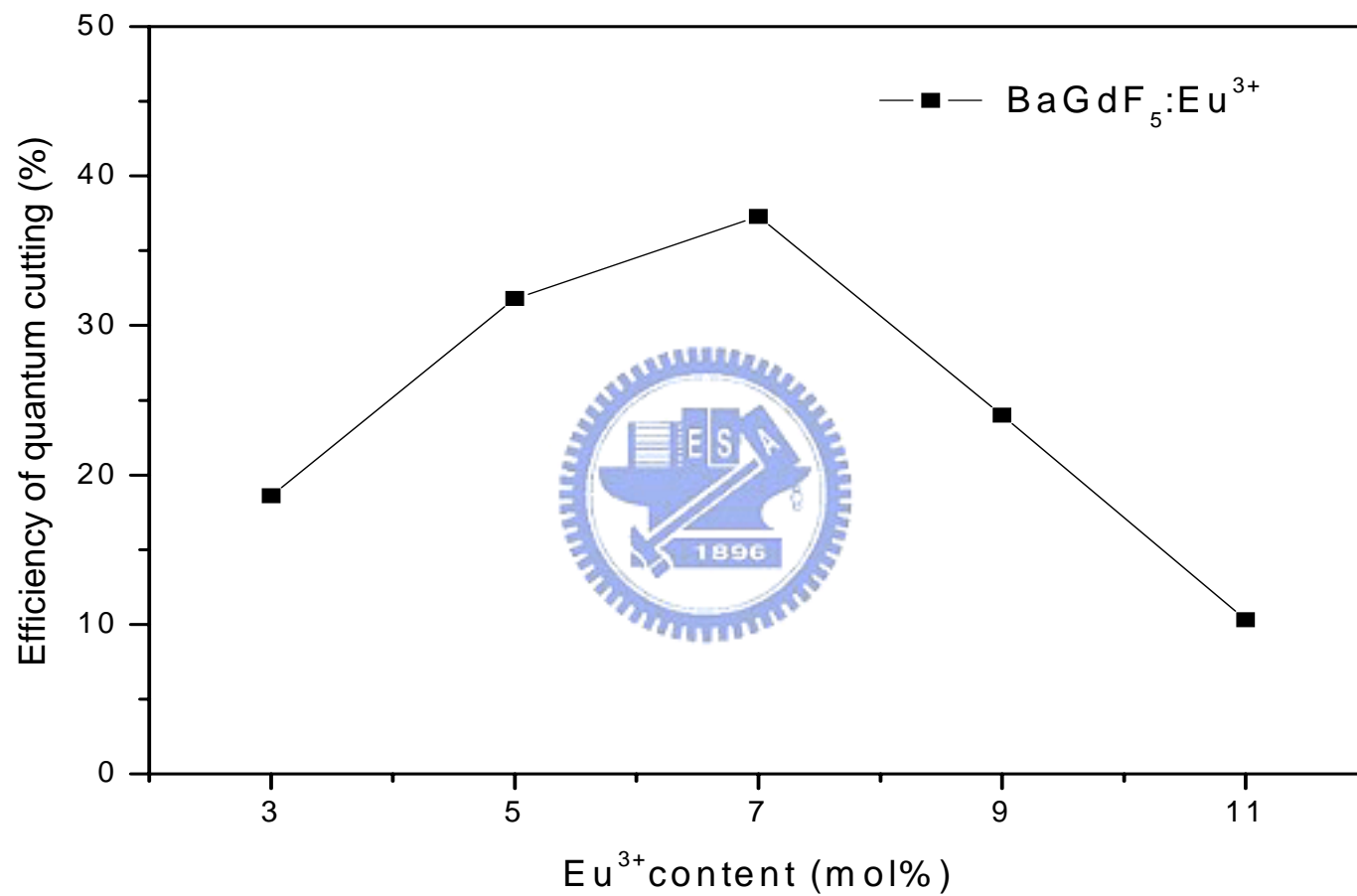


圖十四 BaGdF₅:5%Eu³⁺之放射光譜圖：(a)以波長195 nm激發Gd³⁺ ${}^8S_{7/2} \rightarrow {}^6G_J$ 躍遷；
 (b)以波長273 nm激發Gd³⁺ ${}^8S_{7/2} \rightarrow {}^6I_J$ 躍遷 (以 ${}^5D_2 \rightarrow {}^7F_3$ 躍遷為歸一化基準)

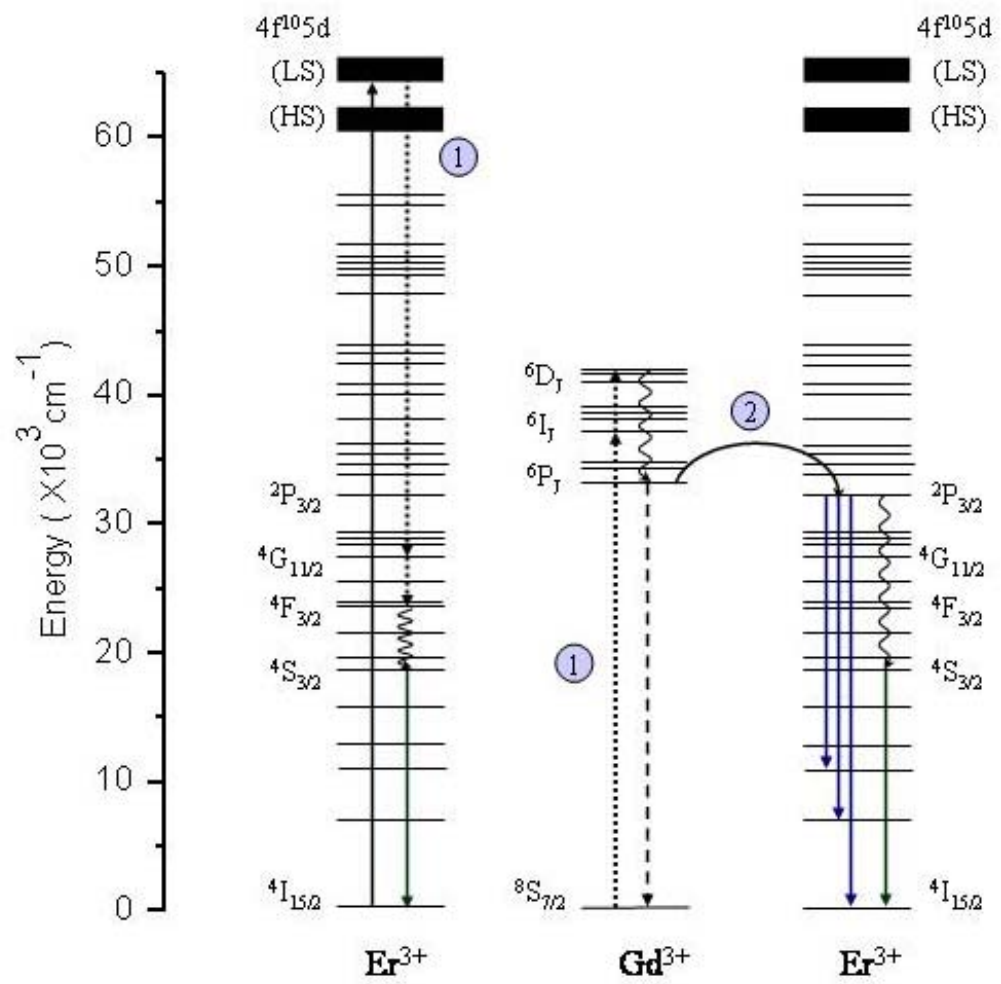


圖十五 BaGdF₅:5%Eu³⁺之激發光譜圖：(a)監控波長為592 nm之Eu³⁺ $^5D_0 \rightarrow ^7F_1$ 放射峰；

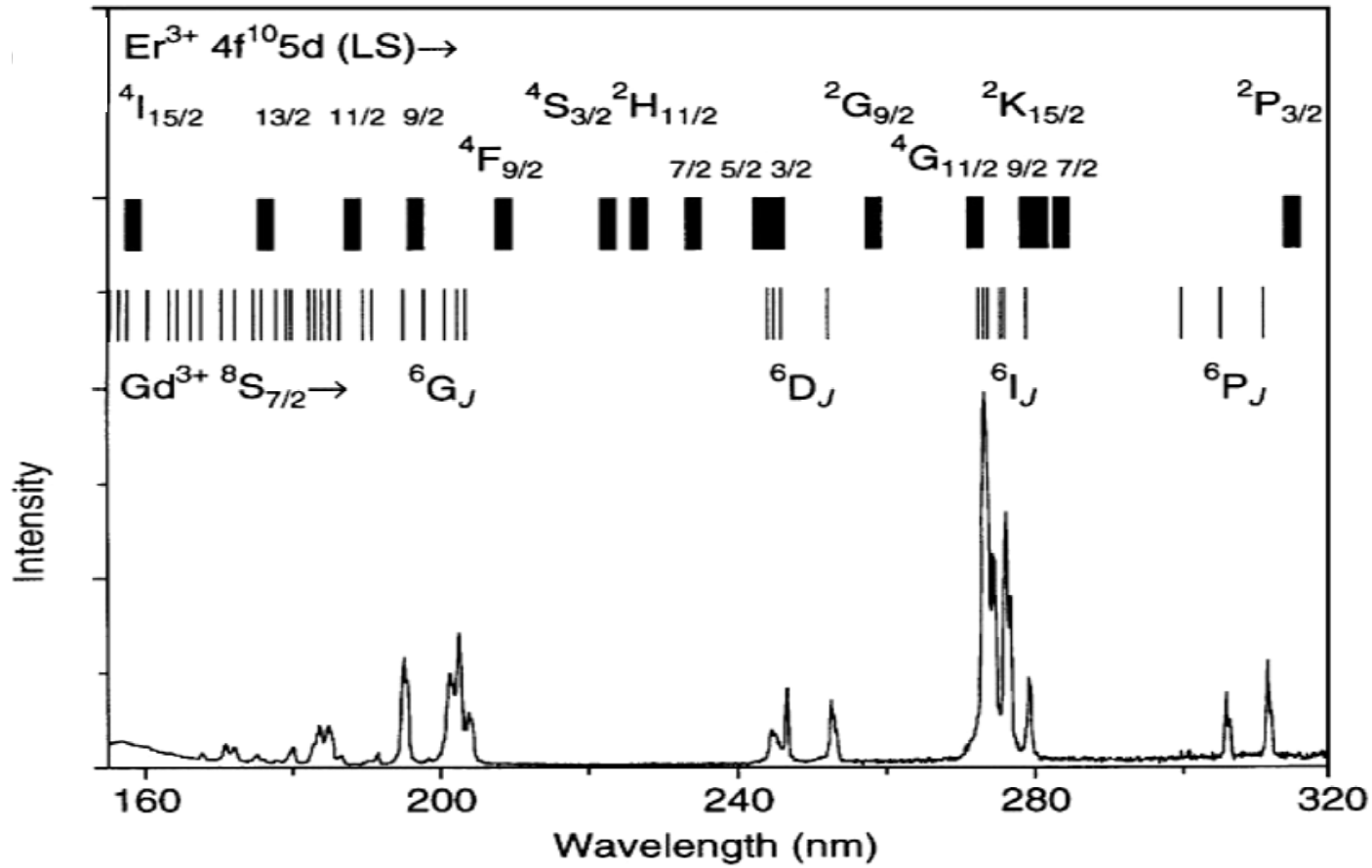
(b)監控波長為510 nm之Eu³⁺ $^5D_2 \rightarrow ^7F_3$ 放射峰



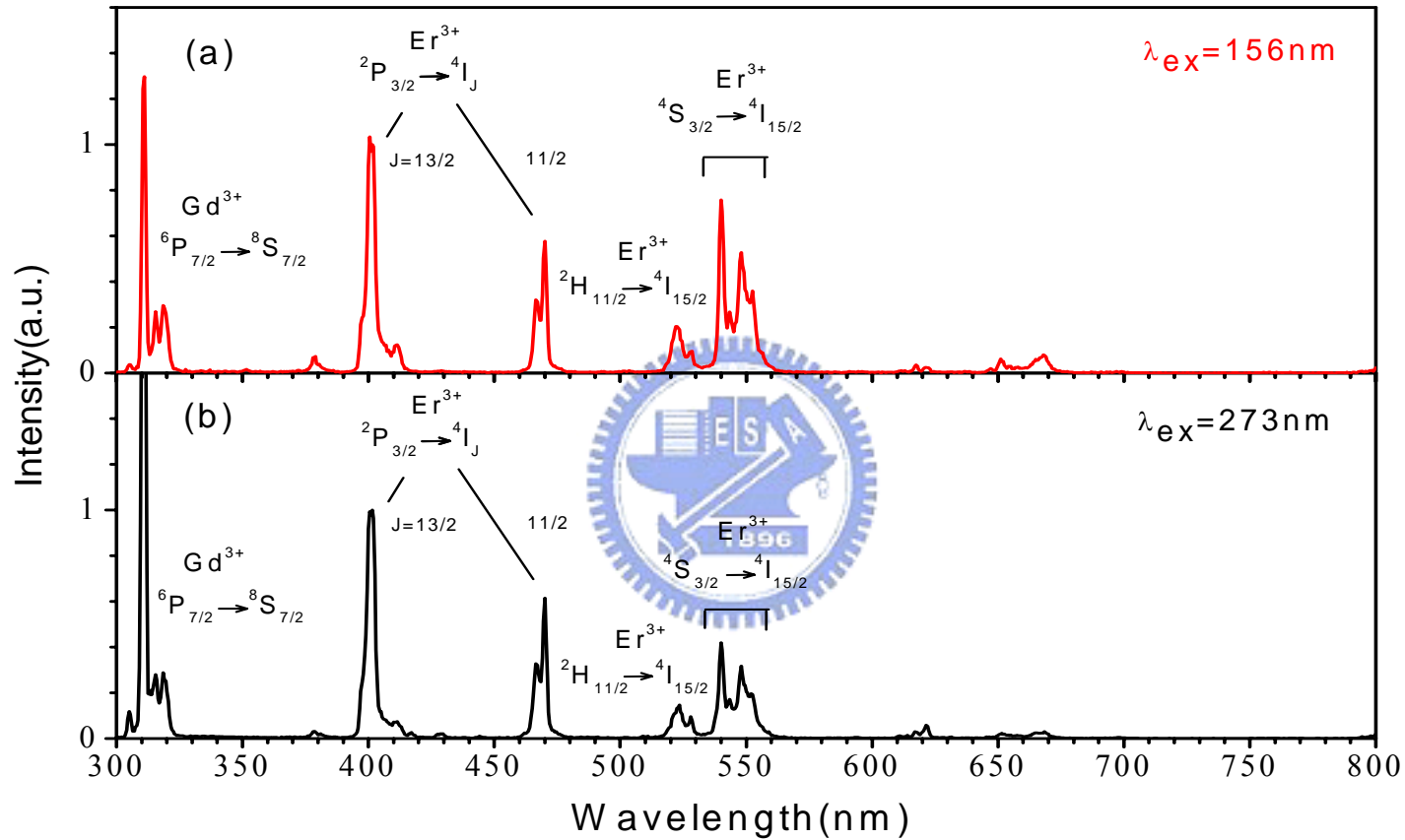
圖十六 摻雜不同濃度 Eu³⁺ 之 BaGdF₅ 量子剪裁效率趨勢



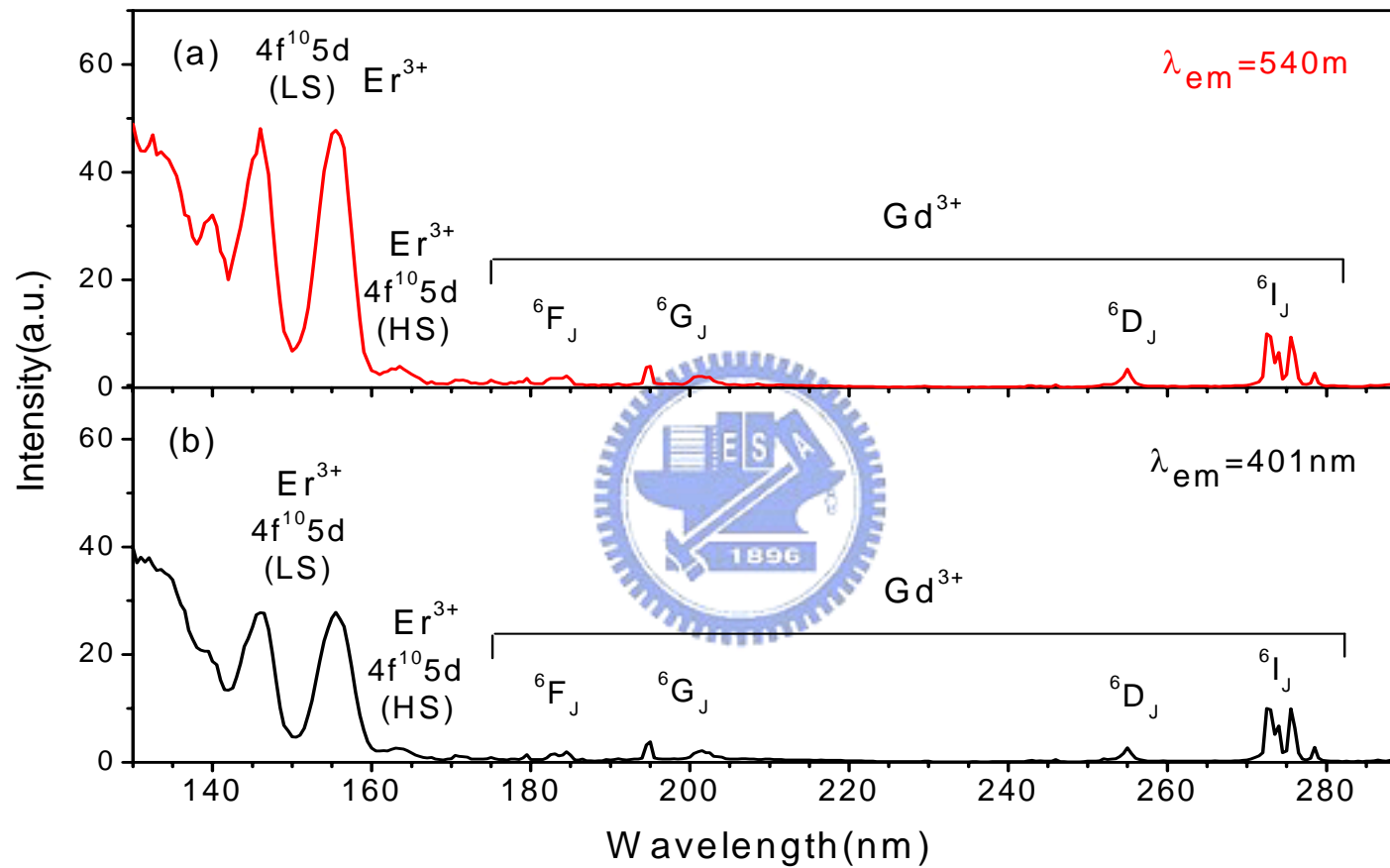
圖十七 Gd^{3+} - Er^{3+} 組合之量子剪裁機制示意圖^[36]



圖十八 $\text{LiGdF}_4:0.1\%\text{Eu}^{3+}$ 激發光譜圖^[36] (垂直細線代表此能量範圍所有 Gd^{3+} 激發的譜線位置；垂直粗桿則表示此能量範圍中從 Er^{3+} low spin 4f¹⁰5d state 放射的所有放射譜線位置)

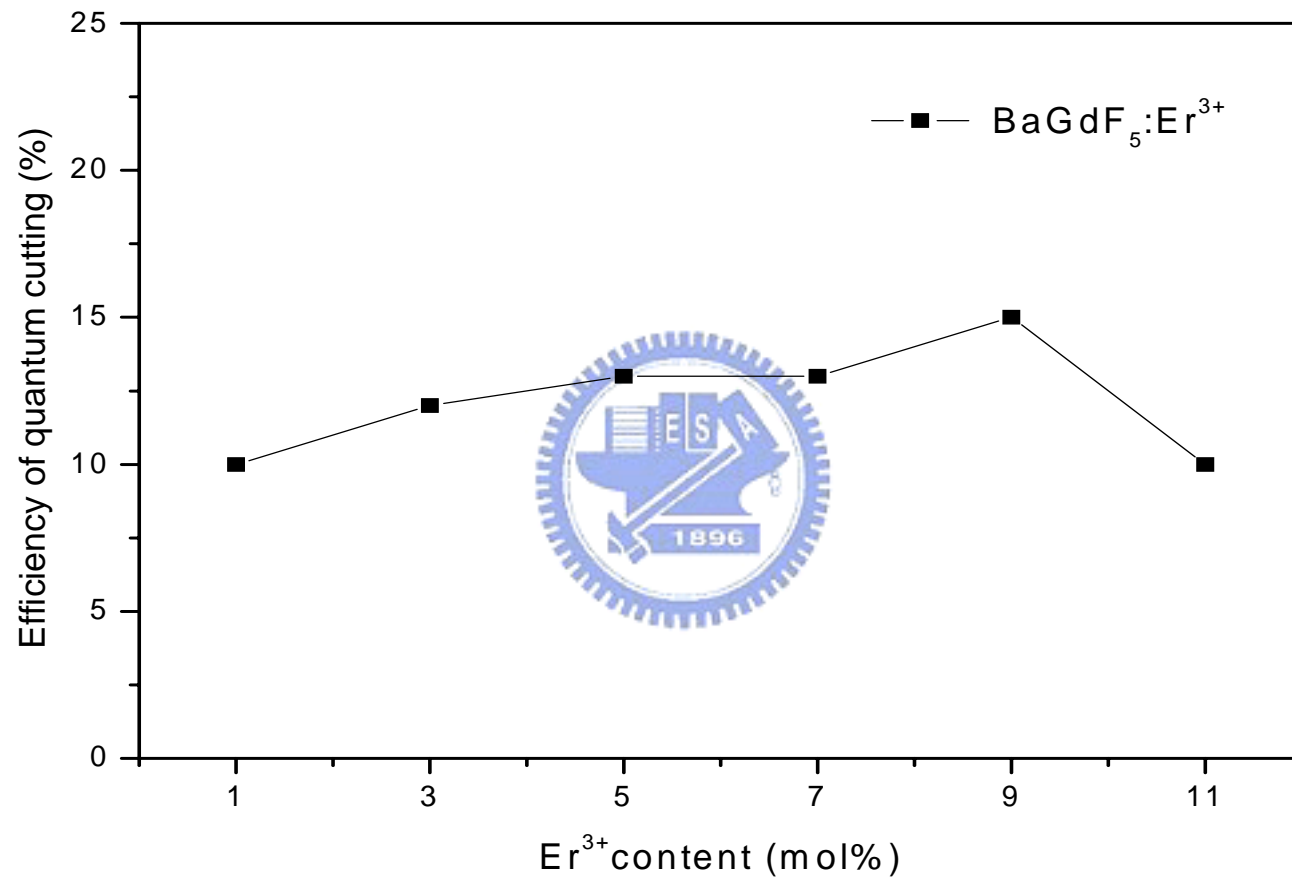


圖十九 $\text{BaGdF}_5:5\%\text{Er}^{3+}$ 之放射光譜圖：(a)以波長156 nm激發 $\text{Er}^{3+} {}^4\text{I}_{15/2} \rightarrow 4f^{10}5d$ 躍遷；
 (b)以波長273 nm激發 $\text{Gd}^{3+} {}^8\text{S}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{I}_J$ 躍遷 (以 ${}^2\text{P}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$ 躍遷為歸一化基準)

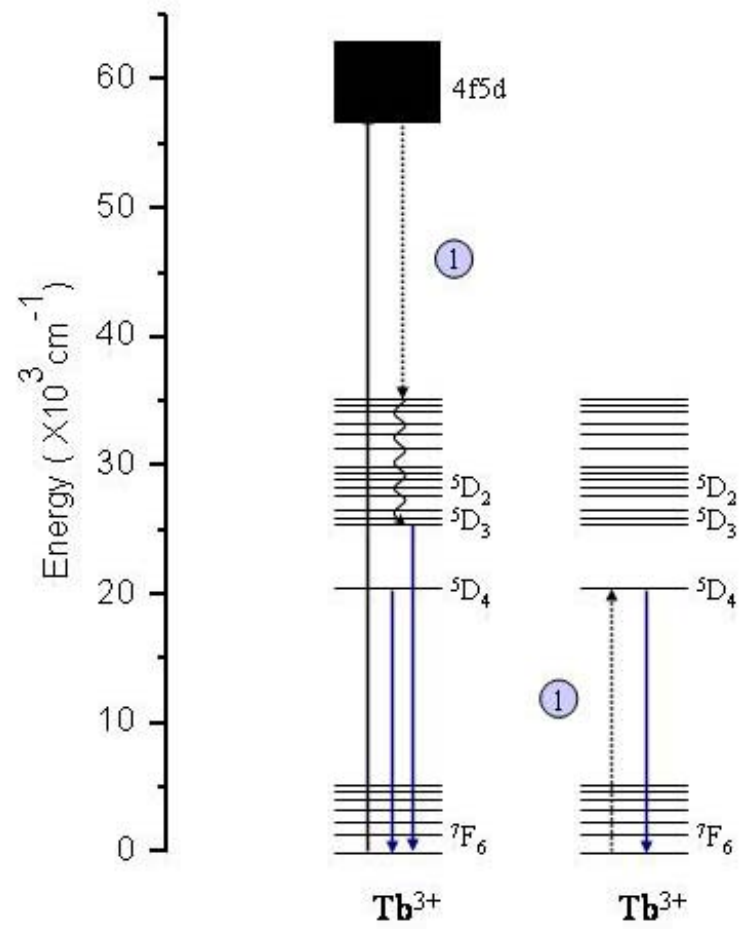


圖二十 BaGdF₅:5%Er³⁺之激發光譜圖：(a)監控波長為540 nm之Er³⁺ ⁴S_{3/2}→⁴I_{15/2}放射峰；

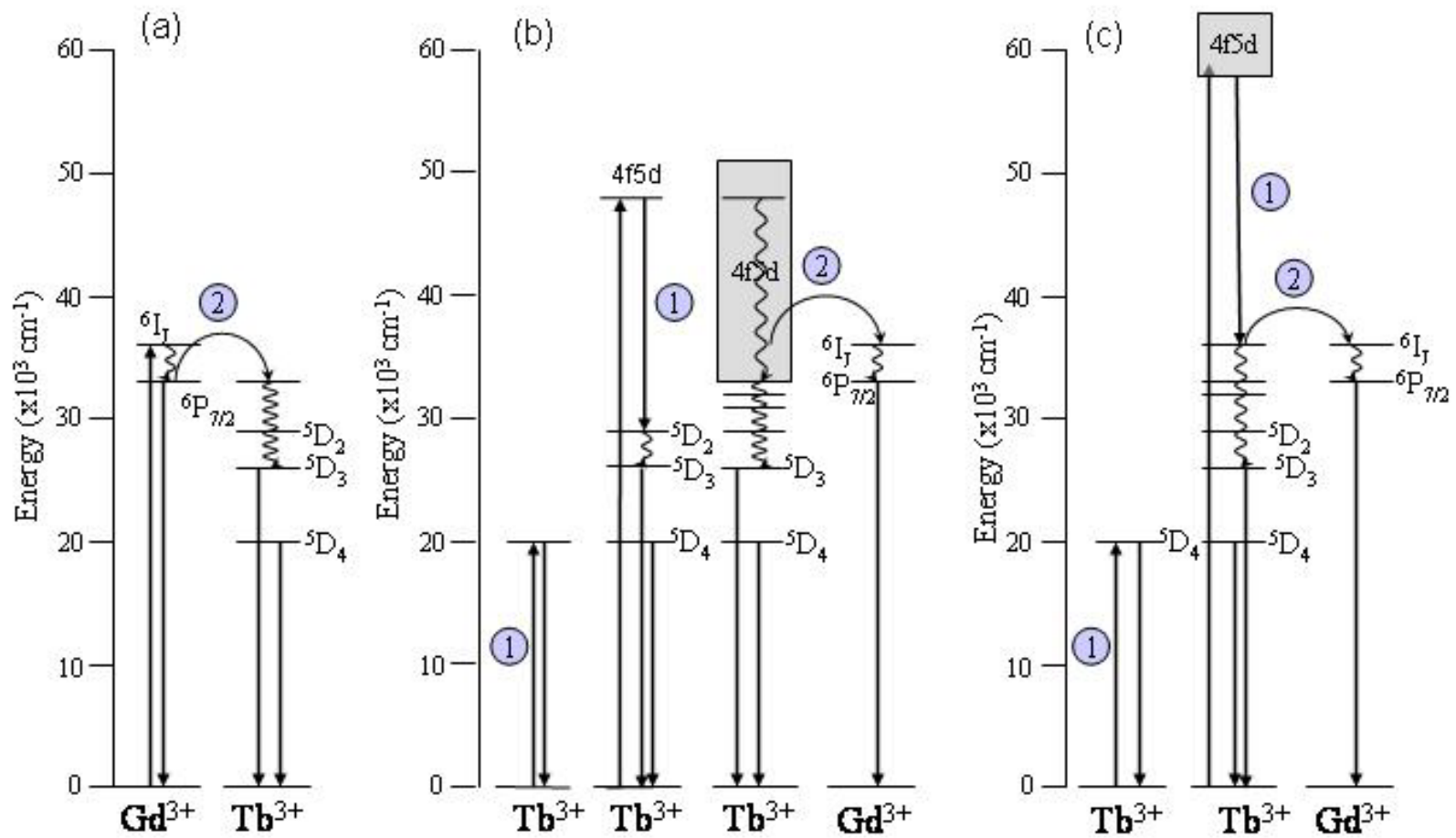
(b)監控波長為401 nm之Er³⁺ ²P_{3/2}→⁴I_{13/2}放射峰



圖二十一 摻雜不同濃度 Er³⁺之 BaGdF₅ 量子剪裁效率趨勢

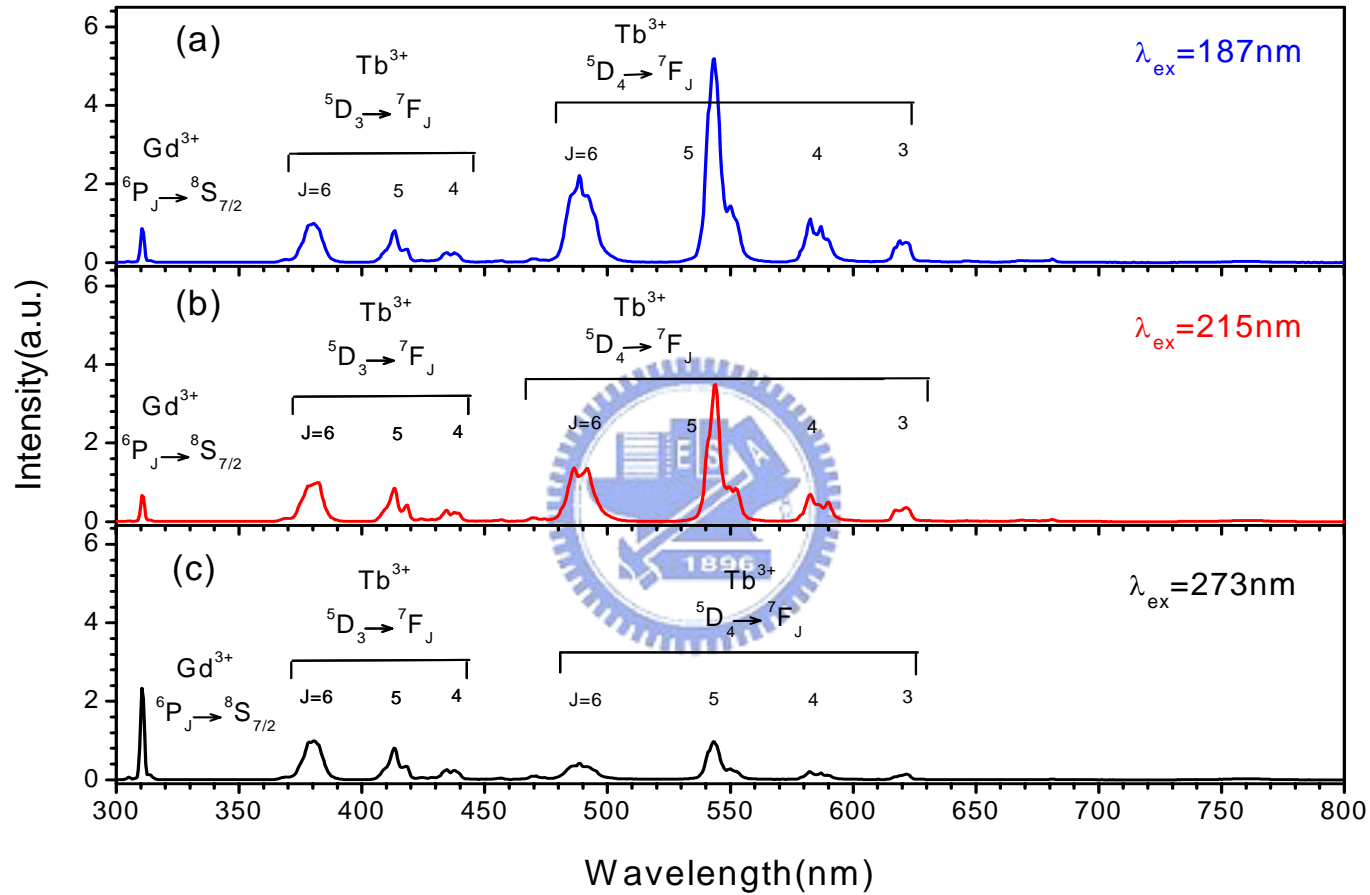


圖二十二 Gd^{3+} - Tb^{3+} 組合之量子剪裁機制示意圖^[39]

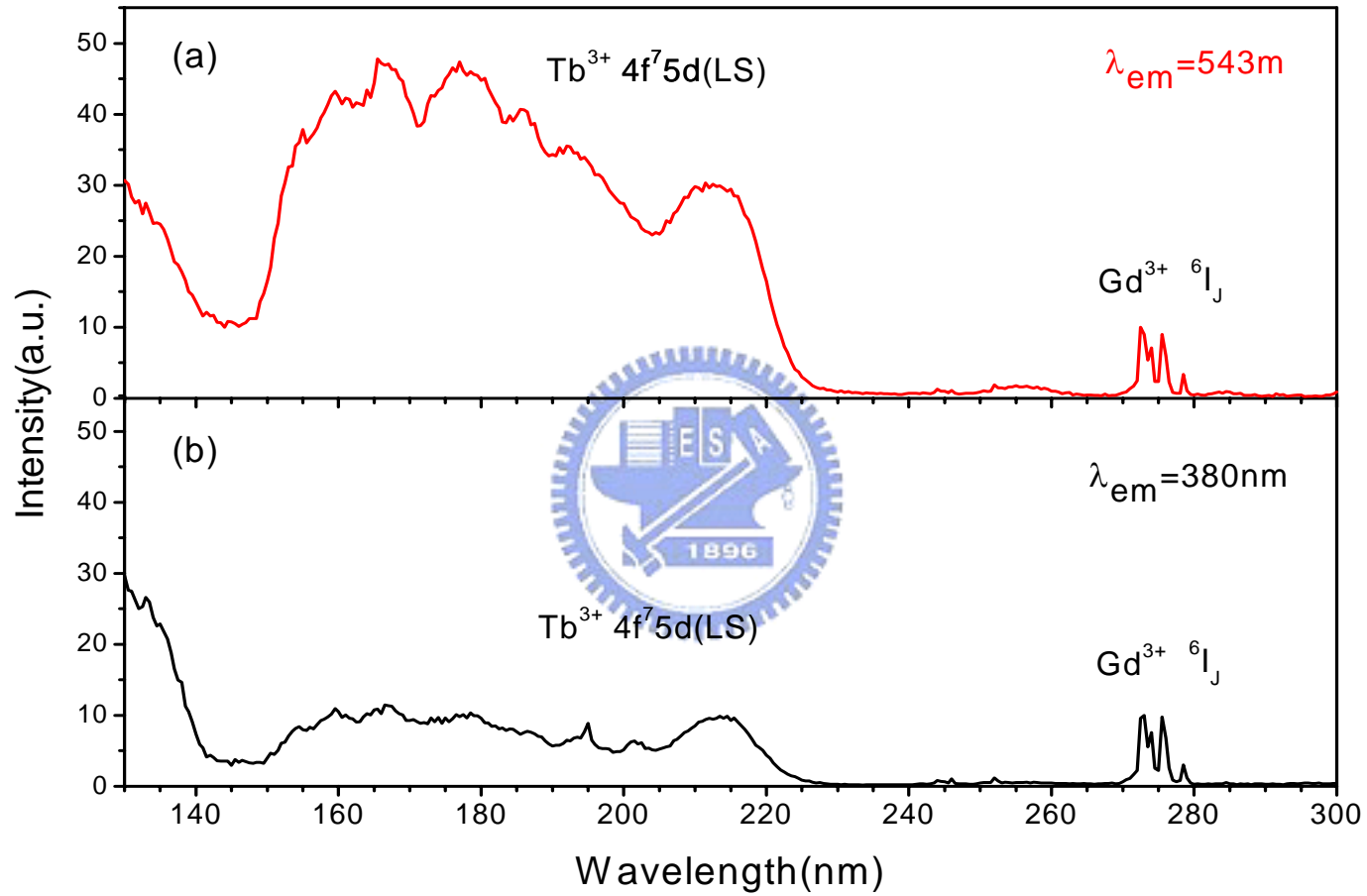


圖二十三 以不同波長激發BaGdF₅:Tb³⁺所產生的發光機制推論^[39]：

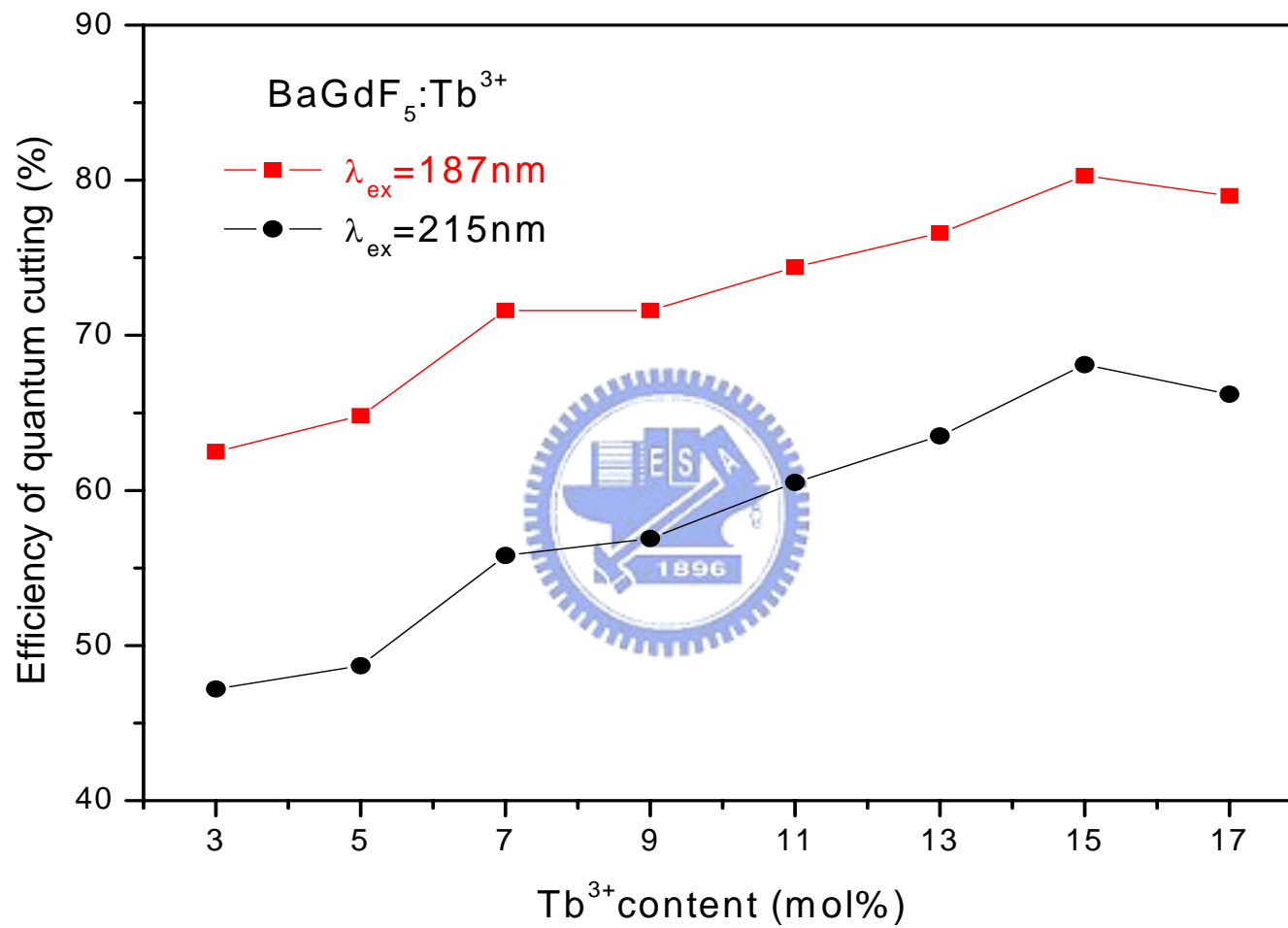
(a) $\lambda_{\text{ex}} = 273 \text{ nm}$; (b) $\lambda_{\text{ex}} = 215 \text{ nm}$; (c) $\lambda_{\text{ex}} = 187 \text{ nm}$



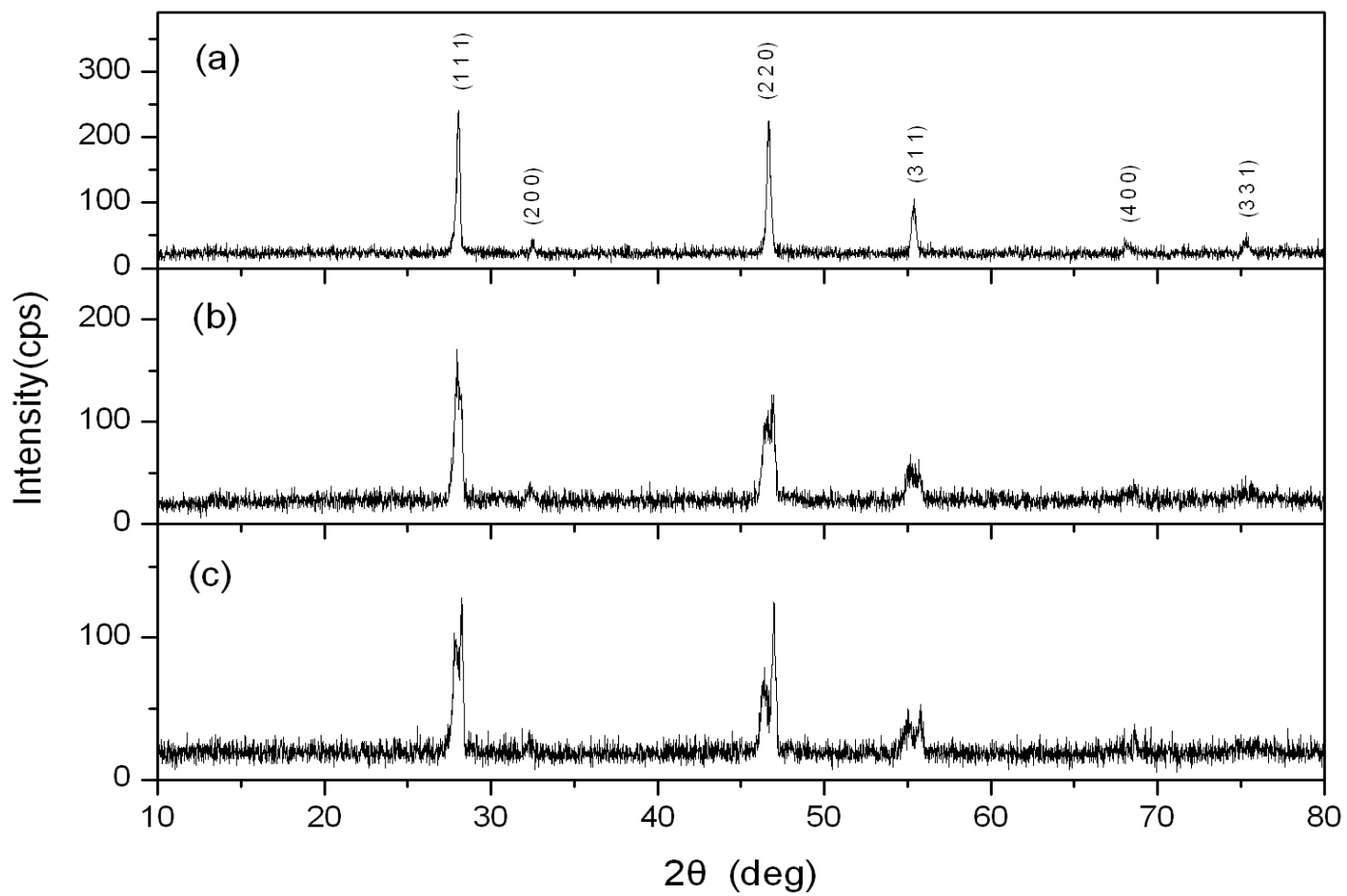
圖二十四 BaGdF₅:5%Tb³⁺之放射光譜圖：(a)以波長187 nm激發Tb³⁺ $^7F_6 \rightarrow 4f^75d$ 躍遷；(b)以波長215 nm激發 Tb³⁺ $^7F_6 \rightarrow 4f^75d$ 躍遷；(c)以波長273 nm激發Gd³⁺ $^8S_{7/2} \rightarrow ^6I_1$ 躍遷 (以 $^5D_3 \rightarrow ^7F_6$ 躍遷為歸一化基準)



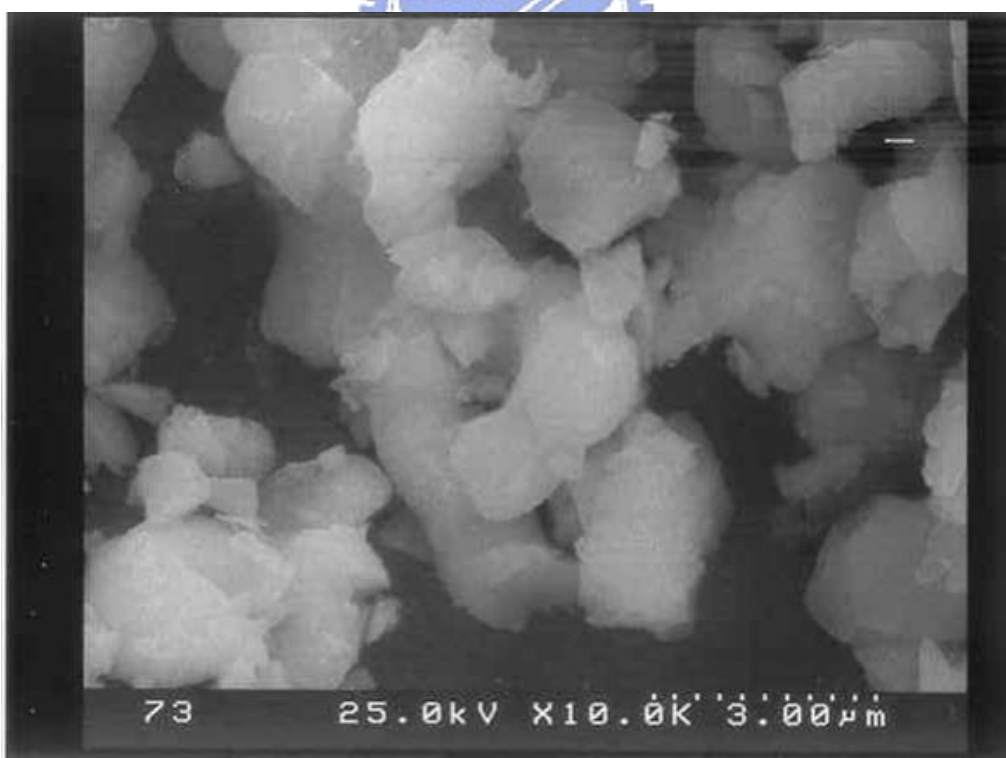
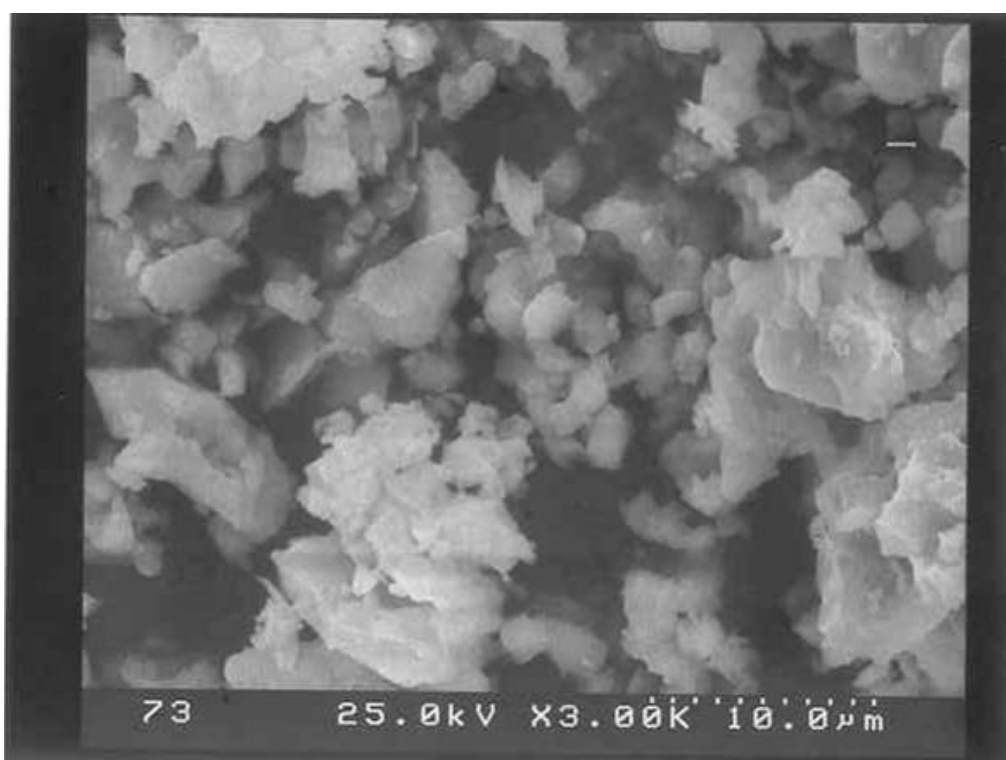
圖二十五 BaGdF₅:5%Tb³⁺之激發光譜圖：(a)監控波長為543 nm之Tb³⁺ ⁵D₄→⁷F₅放射峰；
 (b)監控波長為380 nm之Tb³⁺ ⁵D₃→⁷F₆放射峰



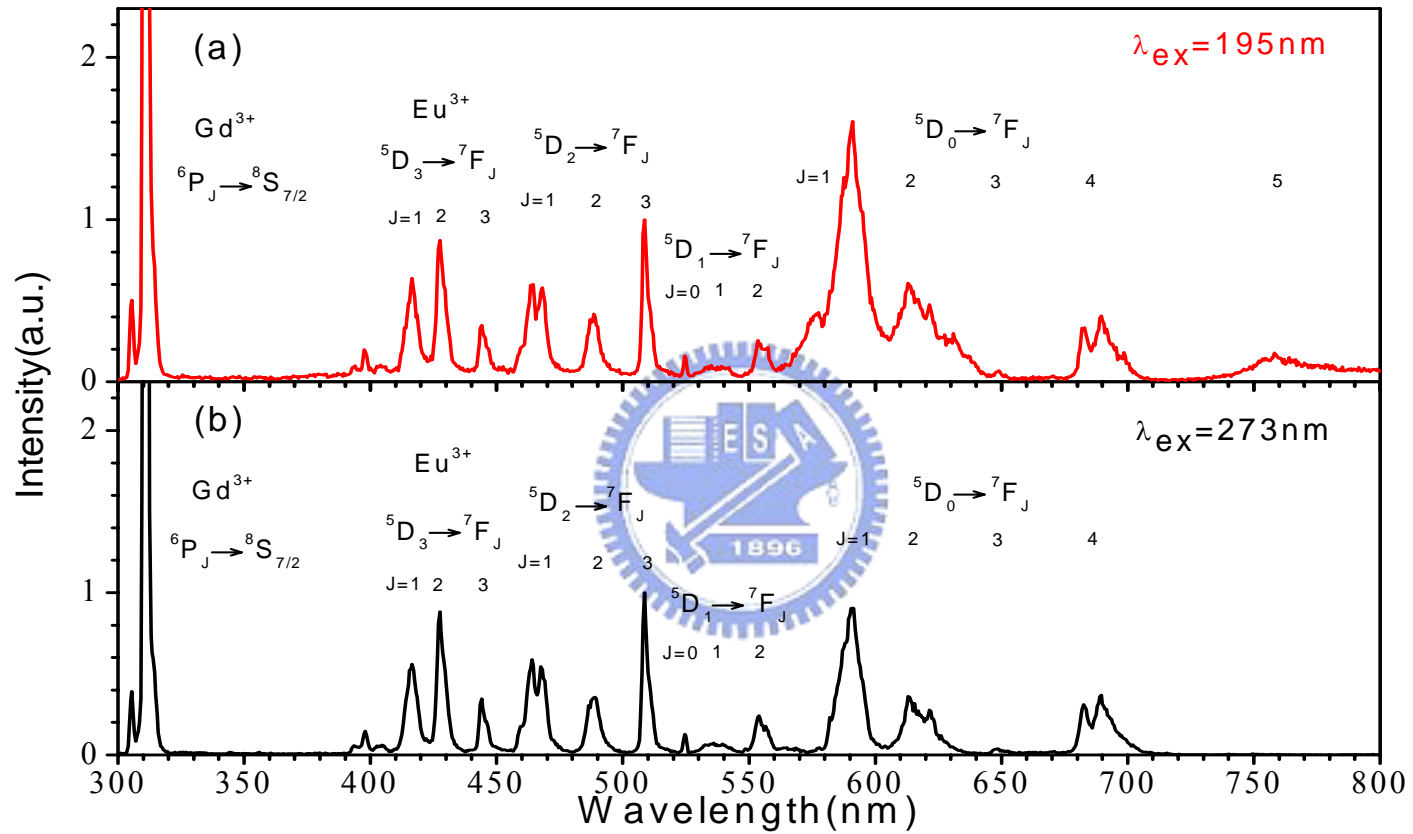
圖二十六 摻雜不同濃度 Tb³⁺之 BaGdF₅ 量子剪裁效率趨勢



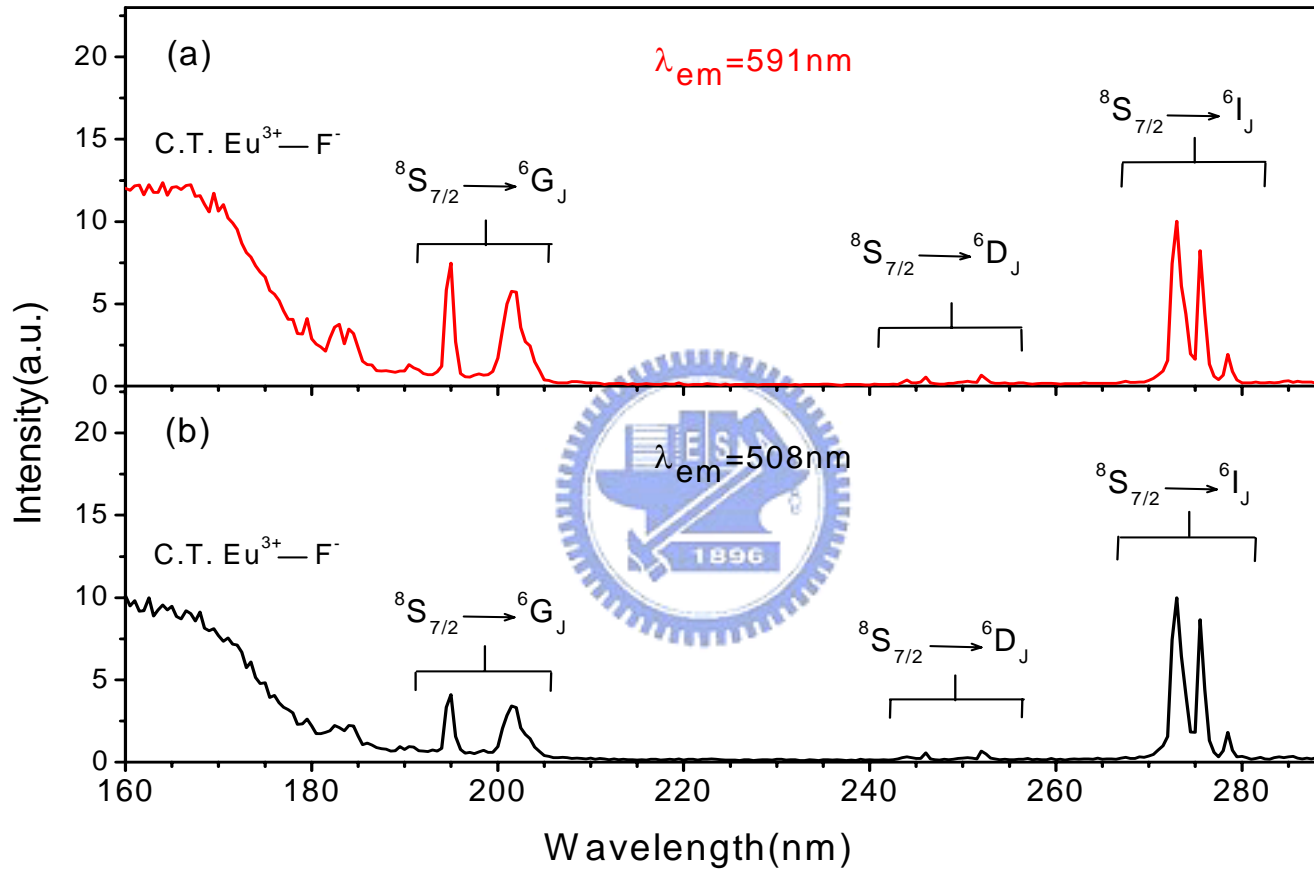
圖二十七 不同溫度所合成 $\text{Ca}_{22}\text{Gd}_3\text{F}_{53}$ XRD 圖譜之比較：(a)1000°C；(b)900°C；(c)800°C



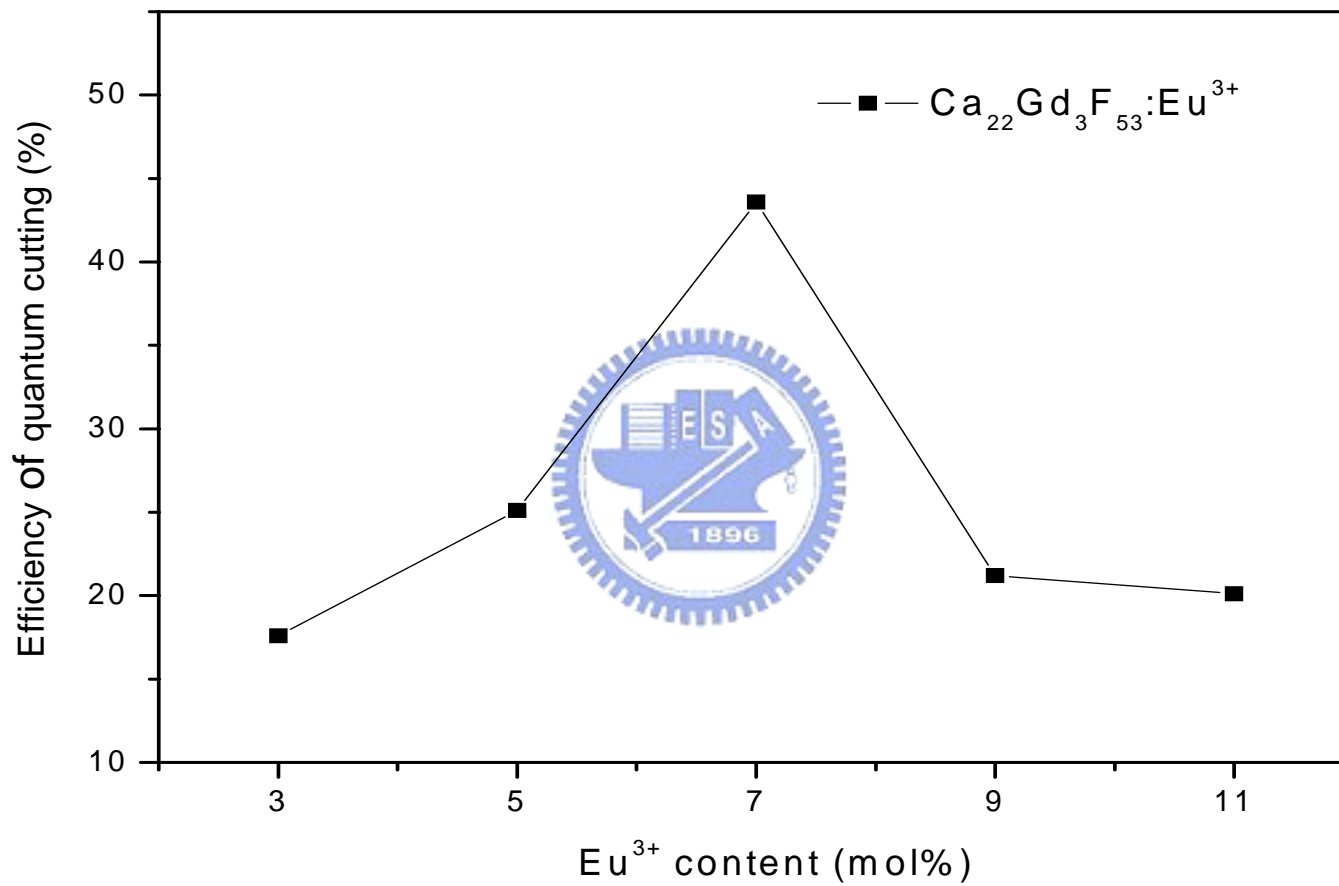
圖二十八 $\text{Ca}_{22}\text{Gd}_3\text{F}_{53}$ 之 SEM 影像圖



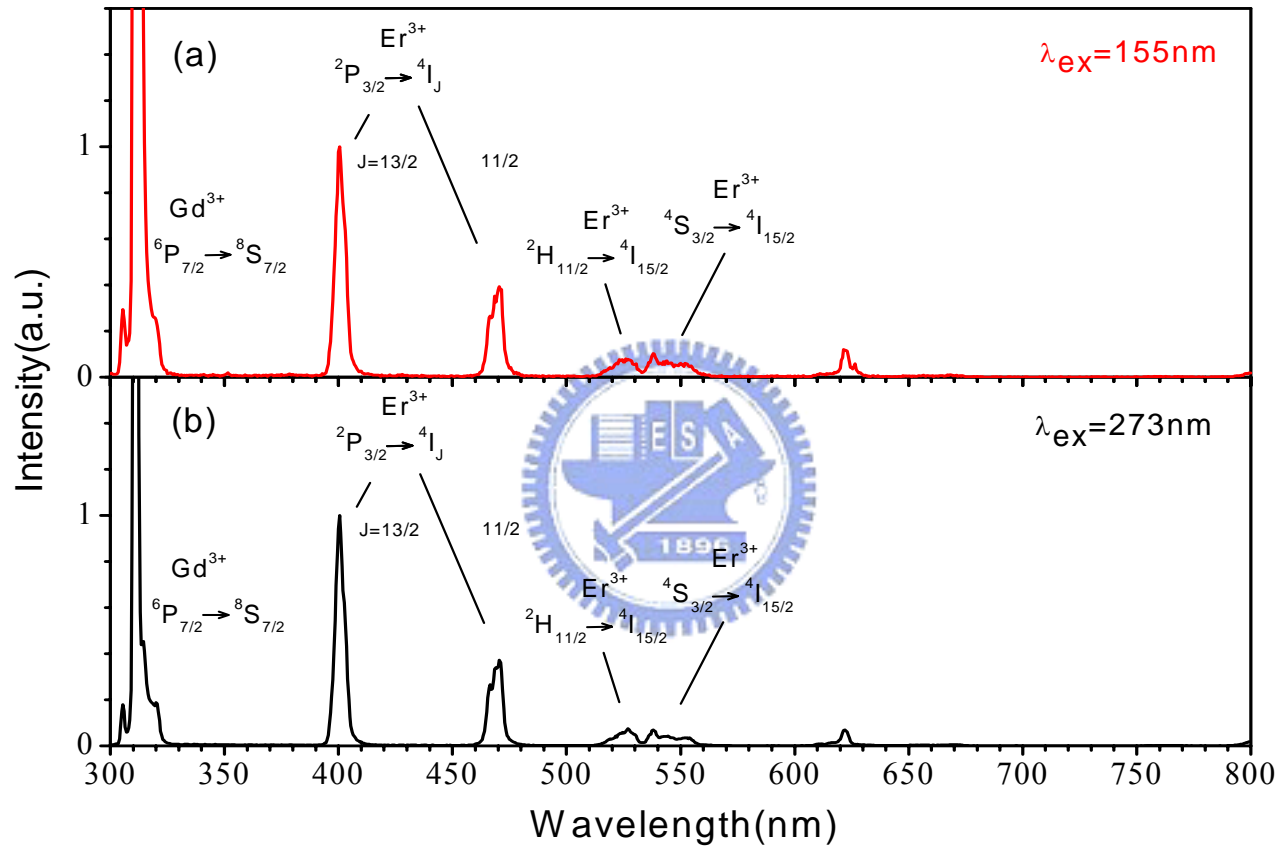
圖二十九 $\text{Ca}_{22}\text{Gd}_3\text{F}_{53}:5\%\text{Eu}^{3+}$ 之放射光譜圖：(a)以波長195 nm激發 $\text{Gd}^{3+} {}^8S_{7/2} \rightarrow {}^6G_J$ 躍遷；
 (b)以波長273 nm激發 $\text{Gd}^{3+} {}^8S_{7/2} \rightarrow {}^6I_J$ 躍遷 (以 ${}^5D_2 \rightarrow {}^7F_3$ 躍遷為歸一化基準)



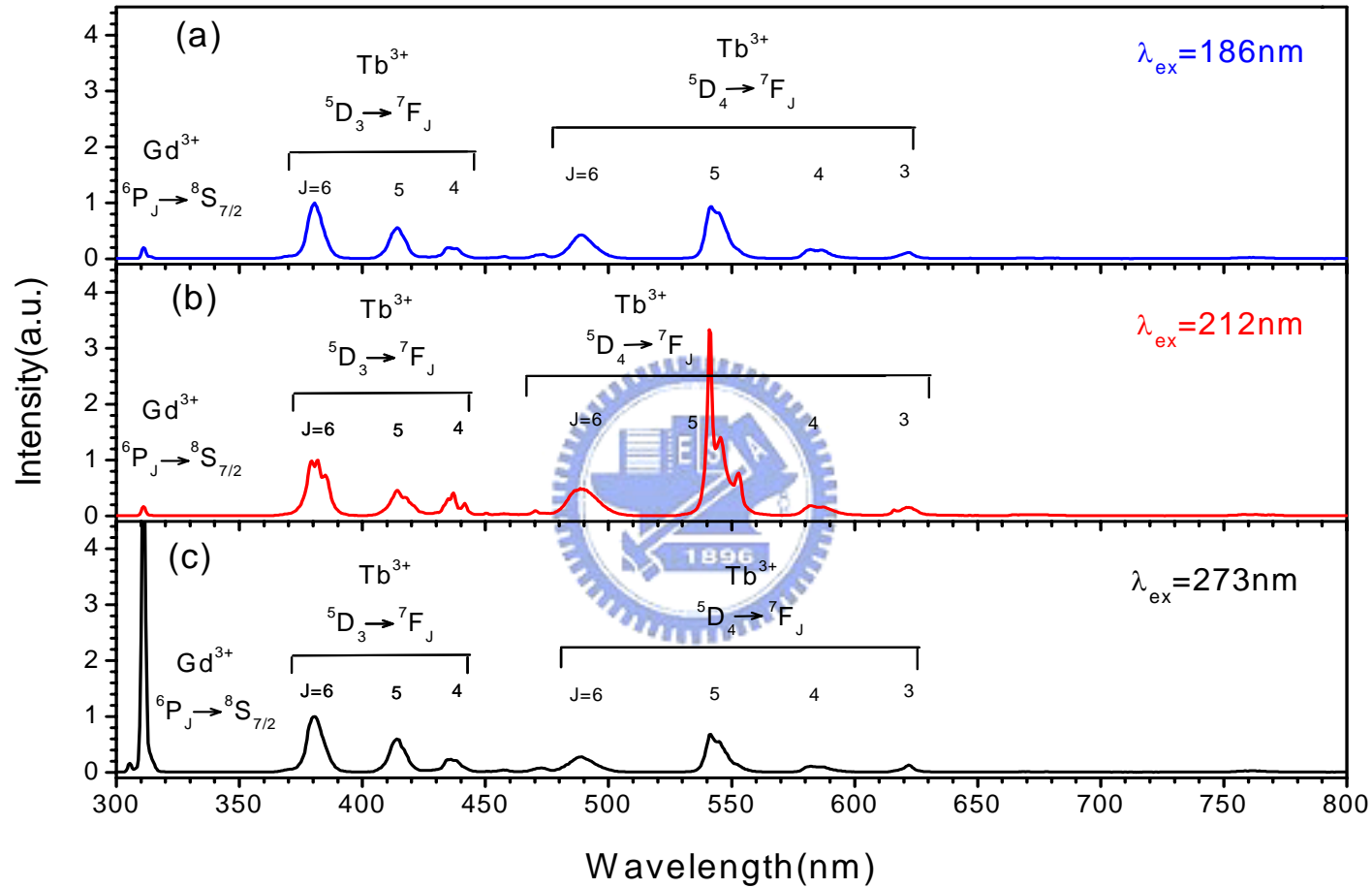
圖三十 $\text{Ca}_{22}\text{Gd}_3\text{F}_{53}:5\%\text{Eu}^{3+}$ 之激發光譜圖：(a) 監控波長為 591 nm 之 $\text{Eu}^{3+} {}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_1$ 放射峰；
 (b) 監控波長為 508 nm 之 $\text{Eu}^{3+} {}^5\text{D}_2 \rightarrow {}^7\text{F}_3$ 放射峰



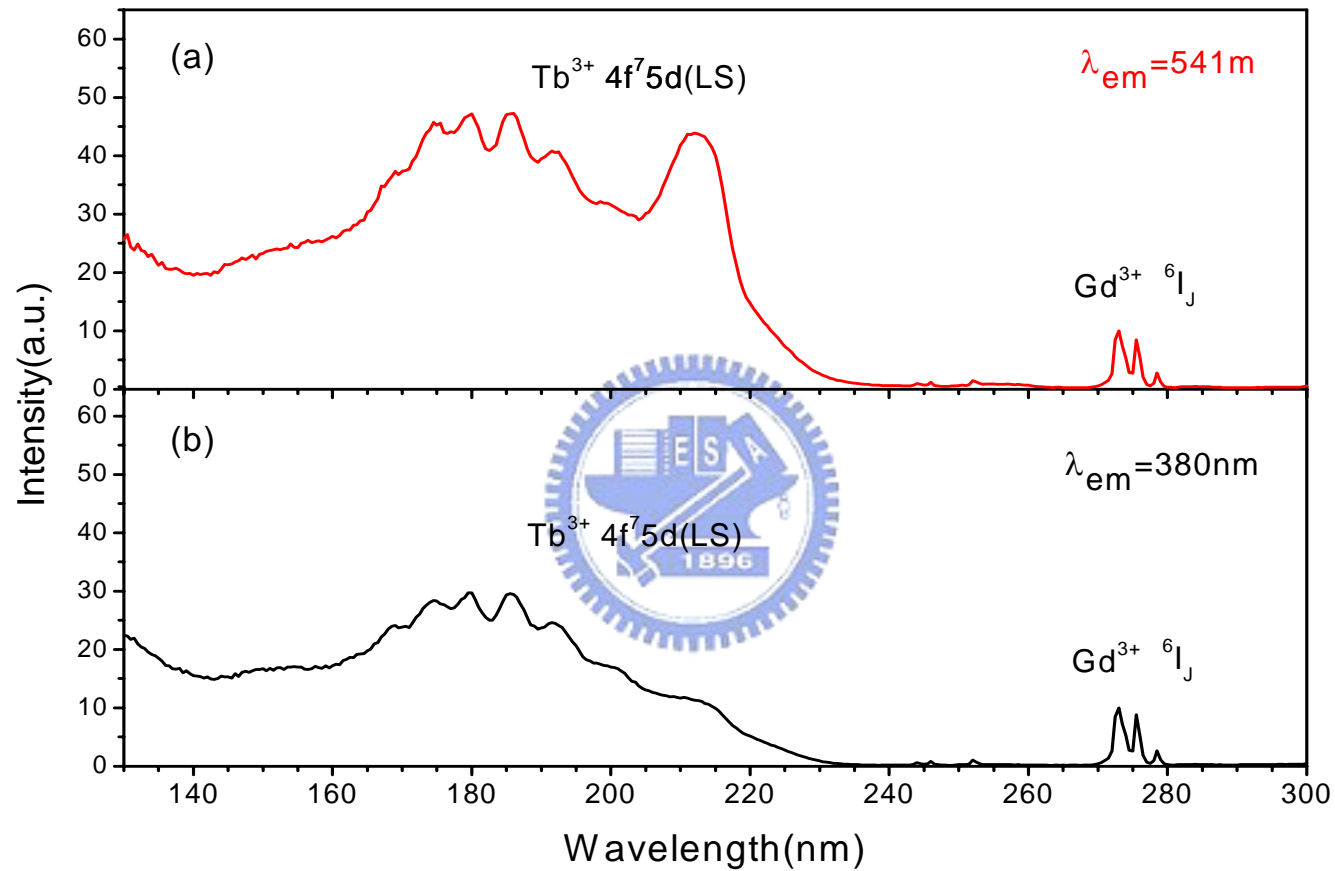
圖三十一 摻雜不同濃度 Eu^{3+} 之 $\text{Ca}_{22}\text{Gd}_3\text{F}_{53}$ 量子剪裁效率趨勢



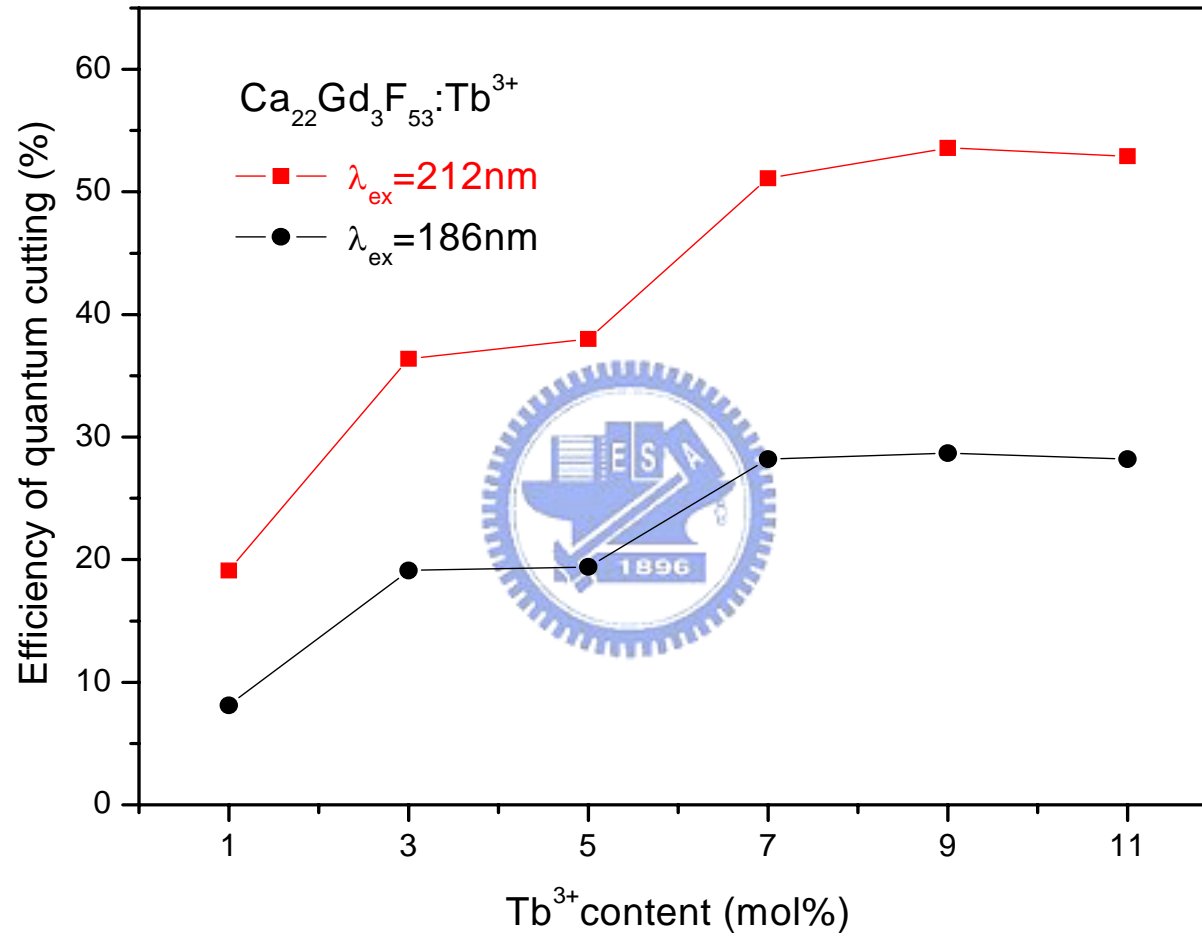
圖三十二 $\text{Ca}_{22}\text{Gd}_3\text{F}_{53}:5\%\text{Er}^{3+}$ 放射光譜圖：(a)以波長155 nm激發 $\text{Er}^{3+} {}^4\text{I}_{15/2} \rightarrow 4f^{10}5d$ 躍遷；
 (b)以波長273 nm激發 $\text{Gd}^{3+} {}^8\text{S}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{I}_J$ 躍遷 (以 ${}^2\text{P}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$ 躍遷為歸一化基準)



圖三十三 $\text{Ca}_{22}\text{Gd}_3\text{F}_{53}:\text{5\%Tb}^{3+}$ 放射光譜圖：(a)以波長186 nm激發 $\text{Tb}^{3+} \ ^7F_6 \rightarrow 4f^75d$ 躍遷；(b)以波長212 nm激發 $\text{Tb}^{3+} \ ^7F_6 \rightarrow 4f^75d$ 躍遷；(c)以波長273 nm激發 $\text{Gd}^{3+} \ ^8S_{7/2} \rightarrow ^6I_1$ 躍遷 (以 $^5D_3 \rightarrow ^7F_6$ 躍遷為歸一化基準)



圖三十四 $\text{Ca}_{22}\text{Gd}_3\text{F}_{53}:5\%\text{Tb}^{3+}$ 激發光譜圖：(a) 監控波長為 541 nm 之 $\text{Tb}^{3+} 5D_4 \rightarrow 7F_5$ 放射峰；
 (b) 監控波長為 380 nm 之 $\text{Tb}^{3+} 5D_3 \rightarrow 7F_6$ 放射峰



圖三十五 摻雜不同濃度 Tb³⁺ 之 Ca₂₂Gd₃F₅₃ 量子剪裁效率趨勢