

第五章 結論

從前一章的分析，我們可以發現摻雜氧化鐵的鈮酸鋰晶體，沿著其 c 軸量測阻抗值所得到的介電特性，可以整理出以下結論

1. 由直流導電率 σ_{dc} 以及 Electric Modulus 實部 M' 對頻率 f 圖可以分別得到直流導電活化能 E_a 以及弛豫活化能 E_m ，其數值如表 5.1 所示

LN 晶體所含 Fe_2O_3 濃度 (mol%)	0.0046	0.0093	0.046	0.069
直流導電活化能 E_a (eV)	1.05	1.17	0.90	1.14
弛豫活化能 E_m (eV)	1.15	1.20	1.06	1.20

表 5-1 不同 Fe_2O_3 濃度 LN 晶體 E_a 與 E_m 的比較

由此可知，晶體在 423~973K 溫度區間時，當所摻雜氧化鐵濃度相等， E_a 與 E_m 約略相等，因為直流導電活化能必為導電離子移動所需克服位能障礙，所以晶體在外加交流電場作用下，在較低頻區產生的弛豫貢獻來自於導電離子；而感應電偶極和固有電偶極的介電弛豫則分佈在較高頻區域，對導電弛豫活化能的測量的影響是很小的。

2. 以交流電場頻率 10^5 Hz 為例，各濃度在實驗溫區為 473~973K 下所對應的導電率實部，並作導電率實部 σ' 對摻雜氧化鐵濃度圖，如圖 5.1 所示，當濃度從 0.0046mol% 增加至 0.0093mol%，再增加至 0.046mol% 過程中，導電率實部有增大趨勢，但當濃度從 0.046mol% 為 0.069 mol% 時，導電率實部卻減小。由實驗結果以及參考第一章前人有關於摻雜氧化鎂、氧化鋅於鈮酸鋰晶體的空缺研究，推測在摻雜氧化鐵濃度介於 0.0046mol% 至 0.046mol% 之間時，晶體內部空缺數目可能隨氧化鐵濃度增加而增加，使得導電率實部

增加；當濃度高於 0.046mol%後，晶體內部空缺數目可能隨氧化鐵濃度增加而減少，使得導電率實部減小。不過，實際上除了與空缺數目會對晶體導電率有影響，可移動載子濃度也會影響晶體導電率。另外，摻入雜質會破壞晶格的週期性，使載子與不規則週期發生散射。故晶體所呈現出來的導電特性乃是上述三種不同效應疊加的結果，所以本實驗只能大約得到晶體內部導電性與所摻雜氧化鐵濃度關係的趨勢。

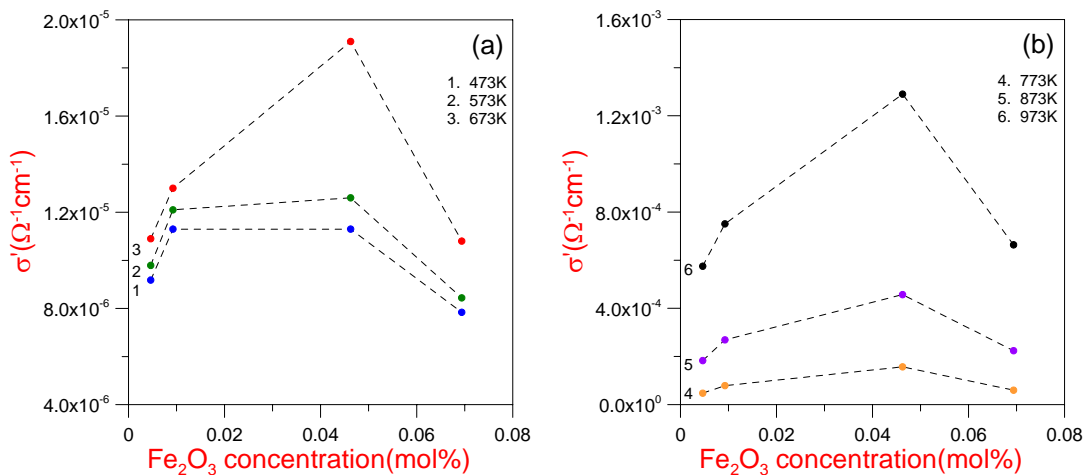


圖 5.1 電導率實部 σ' 對摻雜氧化鐵濃度圖

3. 鈮酸鋰晶體於鐵電相時，本身內部即有自發性極化，所以存在有固有電偶極矩，當摻入雜質於非化學計量的鈮酸鋰晶體後，雜質離子和空缺也因具有電荷與周圍環境可能形成電偶極矩，這些電偶極矩在外加交流電場作用時會產生介電弛豫，影響晶體的介電特性。以交流電場頻率 10^5 Hz 為例，各濃度在溫度為 473~973K 下所對應的介電常數實部(靜態介電常數)，並且參考(33)論文中所得未加雜質 LN 晶體的介電常數實部 ($\sim 2 \times 10^3$)，作介電常數實部 ϵ_s 對摻雜氧化鐵濃度圖，如圖 5.2 所示，當濃度從 0.0046mol%增加至 0.0093mol%，再增加至 0.046mol%過程中，介電常數實部有隨摻雜氧化鐵濃度增加而增大趨勢，推測在此摻雜氧化鐵濃度範圍內，其雜質和空缺所形成電偶極數目，可能隨濃度增加而增加，使得介電常數實部有增大；但當摻雜氧化鐵濃度高於 0.046mol%後，晶體內部雜質數目隨濃度增加持續增加，

而空缺數目可能隨濃度增加而減少，且空缺減少速率比雜質增加速率來的快，使得介電常數實部減小。

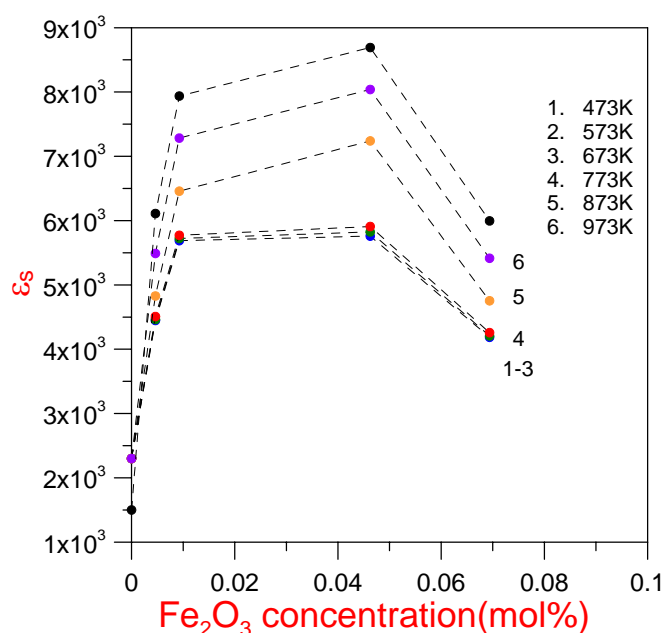


圖 5.2 靜態介電常數 ϵ_s 對摻雜氧化鐵濃度

- 綜合 2 與 3 兩點，可以推測在摻雜氧化鐵於鈮酸鋰晶體中，可以產生導電效應的粒子為 Li^+ ；可以產生介電效應的包括晶體本身為鐵電相的固有電矩、 Fe^{3+} 的雜質電偶極矩以及空缺的電偶極矩，而且由導電率實部及介電常數實部與濃度關係亦可以推測 Fe^{3+} 進入鈮酸鋰後，其取代晶體內部原有離子並產生空缺的機制應該與 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 相類似，當摻雜雜質濃度增加，鈮酸鋰晶體內部的空缺數目也跟著增加；但當摻雜雜質濃度增加增至某一值時，鈮酸鋰晶體內部的空缺數目又開始減少。
- 由第四章分析得知，在較低溫區（423K~723K）時摻雜氧化鐵鈮酸鋰的晶體在交流電場下，其電性包含了離子與電偶極兩者的貢獻，此時晶體可等效於單一導電池路加單一介電池路；但在較溫區（773K~973K），晶體內部離子導電貢獻增大，而電偶極矩因高溫而變的更為無序，不容易受外加交流電場的影響而被極化，所以電偶極矩的貢獻較小，此時晶體可等效於單一導電池路。