

Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄晶体的介电和压电特性*

赵明磊¹⁾ 王矜奉¹⁾ 袁多荣²⁾ 王增梅²⁾ 王春雷¹⁾ 王渊旭¹⁾

¹⁾ 山东大学物理与微电子学院, 济南 250100)

²⁾ 山东大学晶体材料国家重点实验室, 济南 250100)

(2004 年 3 月 9 日收到, 2004 年 7 月 1 日收到修改稿)

利用 Y 切和 (yxℓ)-30° 切两种样品测量了 Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 晶体的介电、压电和部分弹性参数. 计算了 (yxℓ)θ 切型相关压电常数随切角的变化. 与 La₃Ga₅SiO₁₄ 晶体相比, Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 晶体具有更优良的压电性能, 其压电常数 $d_{11} = 7.93 \times 10^{-12}$ C/N, $d_{14} = -5.88 \times 10^{-12}$ C/N.

关键词: Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 晶体, 介电常数, 压电常数

PACC: 7720, 7760, 7785

1. 引 言

石英晶体是目前应用最为广泛的一种压电晶体材料, 具有很高的机械品质因数、具有谐振频率的零温度系数切型以及较为低廉的生长成本. 但是石英晶体的压电常数和机电耦合系数很小, 因此在宽带器件方面的应用受到了限制. 近年来, 一大类具有 A₃BC₃D₂O₁₄ 分子式形式的压电晶体材料引起了人们的重点关注. 该类材料的基本结构如图 1 所示, A 和 B 分别代表八个氧配位的十面体格点和六个氧配位的八面体格点, C 和 D 分别代表四个氧配位的四面体格点, 其中 A = La³⁺, Ca²⁺, Ba²⁺, Sr²⁺ 等, B = Ga³⁺, Ta⁵⁺, Nb⁵⁺ 等, C, D = Ga³⁺, Si⁴⁺, Ge⁴⁺ 等. 这类材料的结构与石英一样同属 32 点群, 以 Ca₃Ga₂Ge₄O₁₄, La₃Ga₅SiO₁₄ 等为代表. La₃Ga₅SiO₁₄ 作为近年来研究较多的 A₃BC₃D₂O₁₄ 形式压电晶体, 已被发现具有比石英晶体更高的压电常数和机电耦合系数, 同时也具有零温度系数的切型, 所以成为目前压电晶体材料研究的一大热点^[1-3]. 但是由于生长 La₃Ga₅SiO₁₄ 晶体所需的 Ga₂O₃ 非常昂贵, 因此生长 La₃Ga₅SiO₁₄ 晶体的成本较高. Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 作为与 La₃Ga₅SiO₁₄ 同系列的 A₃BC₃D₂O₁₄ 型压电晶体材料, 最近刚刚被报道也可以通过提拉法生长出来^[4,5]. 由于 Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 中 Ga 的含量相对较少, 因此具有

制备成本低的优势. 从目前 Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 晶体的相关报道来看, 报道的内容大多集中在晶体的生长、结构、光学以及热学性质上, 而与该晶体实用性密切相关的介电、压电性能的报道却非常少^[4-7]. Kang 等^[4] 利用 Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 晶体的 X 切样品测量了该晶体的横向长度伸缩振动模式的相关参数, 得到该晶体的压电常数 d_{11} 和机电耦合系数 k_{12} 分别约为 -7.28×10^{-12} C/N 和 18%. 由于 Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 晶体初步显示出比 La₃Ga₅SiO₁₄ 晶体更优良的压电性能, 同时具有相对较低的制备成本, 因此有必要对其开展更深入的研究.

本工作的主要内容是利用 Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 晶体的 Y 切和 (yxℓ)-30° 切样品测定 Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄ 晶体的一系列相关的介电、压电以及弹性参数.

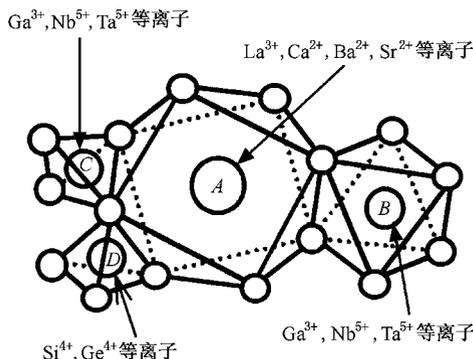


图 1 A₃BC₃D₂O₁₄ 类材料的结构示意图

* 国家自然科学基金(批准号 50372034)和山东省自然科学基金(批准号 Z2003F04)资助的课题.

2. 实验方法

实验所用的 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体是由山东大学晶体材料国家重点实验室提供的. 生长晶体所用的原料为纯度 4N 级的 CaCO_3 、 Nb_2O_5 、 SiO_2 和纯度 98% 的 Ga_2O_3 . 将各种原料按化学计量比混合、压块, 在 1100°C 保温 6 h 得到 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 多晶. 晶体的生长使用射频加热提拉炉, 采用 Czochralski 方法, 并通 N_2 和少量 O_2 组成的混合气体作保护气氛, 提拉和转动速率分别为 0.2—2 mm/h 和 15—30 r/min. 提拉法得到的 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的密度约为 4.1422 g/cm^3 , 其详细的微观结构、热学及光学性能请参见文献 [7].

本工作测量使用的仪器为 Agilent 4294A 型精密阻抗分析仪. Y 切和 (yxl) - 30° 切样品的尺寸均为 $10 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$, 样品主表面制备银电极. 样品密度 $\rho = 4.1422 \text{ g/cm}^3$.

$\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体与石英晶体同属 32 点群, 因此有两个介电常数独立参量 $\epsilon_{11} = \epsilon_{22}$ 、 ϵ_{33} 和两个压电常数独立参量 d_{11} 、 d_{14} .

$\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体 Y 切样品和 (yxl) - 30° 切样品的介电常数分别为 ϵ_{22} 和 ϵ'_{22} . 在旋转坐标系中 ϵ'_{22} 可表示为

$$\epsilon'_{22} = \cos^2\theta \times \epsilon_{11} + \sin^2\theta \times \epsilon_{33}. \quad (1)$$

因此, 根据 (1) 式可以计算得到 ϵ_{33} .

实验通过测量 1 kHz 和 40 MHz 频率下两种样品的介电常数, 由 (1) 式得到 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体在自由(低频)状态下的介电常数 ϵ_{11}^T 、 ϵ_{33}^T 和受夹(高频)状态下的介电参数 ϵ_{11}^S 、 ϵ_{33}^S .

压电常数的测量方法很多^[8-10], 本工作主要采用了谐振法. 根据 32 点群的压电常数矩阵形式, $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体在不同的条件下可以激发多种压电振动模式. Y 切和 (yxl) - 30° 切样品在主表面施加电场时都可以同时激发面切变振动和厚度切变振动. 与 Y 切样品两种振动相关的压电常数分别为 d_{25} 和 e_{26} , 与 (yxl) - 30° 切样品两种振动相关的压电常数分别为 d'_{25} 和 e'_{26} . 实验通过测量样品面切变振动和厚度切变振动的串联谐振频率 f_s 和并联谐振频率 f_p , 可以得到相关振动的机电耦合系数 k_{25} 、 k'_{25} 、 k_{26} 、 k'_{26} . 压电常数和弹性常数的确定用到了下述的相关公式.

对于面切变振动模式,

$$f_s = \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{1}{t^2 \times \rho \times s_{55}^E}}, \quad (2)$$

$$d_{25}^2 = k_{25}^2 \times s_{55}^E \times \epsilon_{22}^T. \quad (3)$$

对于厚度切变振动模式,

$$f_p = \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{c_{66}^D}{t^2 \times \rho}}, \quad (4)$$

$$c_{66}^E = \frac{c_{66}^D}{(1 + k_{26}^2)}, \quad (5)$$

$$e_{26}^2 = k_{26}^2 \times c_{66}^D \times \epsilon_{22}^S. \quad (6)$$

此外, 在旋转坐标系中还有

$$d'_{25} = 2 \times \cos\theta \times \sin\theta \times d_{11} - \cos^2\theta \times d_{14}, \quad (7)$$

$$e'_{26} = -\cos^2\theta \times e_{11} - \cos\theta \times \sin\theta \times e_{14}. \quad (8)$$

根据面切变振动的串联谐振频率 f_s 、密度 ρ 由 (2) 式计算得到短路(恒电场)弹性柔顺常数 s_{55}^E 和 $s_{55}^{E'}$. 再根据 (3) 式计算得到 d_{25} 和 d'_{25} . 由于 32 点群的压电晶体满足 $d_{25} = -d_{14}$, 因此根据 Y 切样品的面切变振动可以确定该晶体的压电参数 d_{14} , 再根据 (7) 式可以计算得到 d_{11} . 此外, 利用 Y 切和 (yxl) - 30° 切样品的厚度切变振动还可以根据 (4)–(6) 式得到开路(恒电位移)弹性刚度常数 c_{66}^D 、 $c_{66}^{D'}$, 短路弹性刚度常数 c_{66}^E 、 $c_{66}^{E'}$ 和压电常数 e_{26} 、 e'_{26} . 由于 $e_{26} = -e_{11}$, 因此可以得到压电常数 e_{11} , 再根据 (8) 式可以计算得到压电常数 e_{14} .

3. 实验结果与讨论

本工作测得的 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体自由和受夹状态下相对介电常数分别为 $\epsilon_{11r}^T = 18.02$ 、 $\epsilon_{33r}^T = 24.9$ 和 $\epsilon_{11r}^S = 16.81$ 、 $\epsilon_{33r}^S = 24.69$. 其中介电常数 ϵ_{11r} 略小于 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的参数, 而 ϵ_{33r} 约为 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的一半. $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的介电常数 ϵ_{33r} 比 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体小很多, 这就使得 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的旋转切型具有较小的介电常数, 更适合材料在高频下应用.

本工作得到 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的压电常数 d_{11} 和 d_{14} 分别为 $7.93 \times 10^{-12} \text{ C/N}$ 和 $-5.88 \times 10^{-12} \text{ C/N}$, 其中 d_{11} 的数值比以往报道的绝对值稍大. 在目前 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 系列晶体材料的报道中, 压电常数 d_{11} 和 d_{14} 的符号相反已有了比较统一的认识, 但各文献中 d_{11} 和 d_{14} 究竟哪一个取正号还是很不一^{—[2,3,11-13]}.

由于谐振法只能确定压电常数的绝对值大小而不能确定符号,因此我们查阅了大量的相关文献.在这些文献中 Bohm 等^[11]报道了使用压电效应直接测得的 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的压电常数 d_{11} ,同时根据 IEEE 标准对 d_{11} 的符号作了规定.由于 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体属于 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的同构体,因此我们选择了与 Bohm 等同样的压电常数取正、负符号的形式.不过对于压电材料,压电常数的符号问题并不是关键问题,其压电性的强弱是通过压电常数的绝对值来反映的.因此从 d_{11} 的测量结果来看,考虑到测量方法的不同可能引起测量结果的微小差别,我们的结果与文献[4]报道的结果基本一致, d_{11} 值都比 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的数据要大.此外,我们测得 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的压电常数 d_{14} , e_{11} , e_{14} 的绝对值也高于 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的数值,表明

$\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体具有比 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体更优良的压电性能.

实验中还得到 Y 切和 (γxl) - 30° 切样品的面切变振动以及厚度切变振动的机电耦合系数,分别为 $k_{25} \approx 15\%$, $k'_{25} \approx 6\%$, $k_{26} \approx 20\%$, $k'_{26} \approx 19\%$. 这些结果超过了已报道的 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的相关数据,同样表明 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体具有比 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体优良的压电性能.对于 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体,我们只见到报道的 X 切样品机电耦合系数 k_{12} 的数据,其大小与我们得到的 k_{26} 和 k'_{26} 相当.这里需要指出的是,晶体材料的压电性能与选取的切型是密切相关的.本工作中 Y 切样品由于具有较大的 d_{14} ,因此面切变振动较强,可以得到高达 15% 的机电耦合系数.而 (γxl) - 30° 切样品由于 d'_{25} 较小 ($d'_{25} \approx -2.5 \times 10^{-12}$ C/N),所以激发的面切变振动也较弱.

表 1 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体和 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的介电、压电及部分弹性常数

材料参数	$\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (本工作)	$\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (文献[4])	$\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ (文献[11])	$\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ (文献[14])
ϵ_{11r}^T	18.20			
ϵ_{11r}^S	16.81		19.2 ± 0.4	
ϵ_{33r}^T	24.90			
ϵ_{33r}^S	24.69		50.7 ± 0.7	
$d_{11}/10^{-12} \text{ C} \cdot \text{N}^{-1}$	7.93	-7.28	6.15 ± 0.2	-6.16
$d_{14}/10^{-12} \text{ C} \cdot \text{N}^{-1}$	-5.88		-6.01 ± 0.7	
$e_{11}/\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$	0.473		0.430	
$e_{14}/\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$	-0.329		-0.148	
$k_{25}/\%$	15			
$k_{26}/\%$	20			13.4
$k_{12}/\%$		18		16
$c_{66}^E/10^{11} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$	0.357		0.4204	
$s_{55}^E/10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$	10.02		20.32	

表 1 给出了 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的介电常数、压电常数、相关振动的机电耦合系数以及部分弹性常数的测量结果.为了便于比较,表 1 同时列出了我们所能查到的已报道的 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体和 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体的相关数据.

在我们得到的相关压电参数中,压电常数 d_{11} 和 d_{14} 的测量结果应更为准确.这是因为面切变的谐振频率较低,没有其他振动的影响,因而谐振频率的测量非常准确.由于厚度切变振动谐振频率较高并受到面切变振动高次谐振的影响,同时厚度方向的尺

寸相对误差也比长度方向大,因此相比较而言,由厚度切变得到的 e_{11} 和 e_{14} 的结果精确度可能会稍差.不过,由于我们选择的 (γxl) - 30° 切样品的面切变振动相对厚度切变振动较弱,高次面切变振动对厚度切变振动的影响也是非常有限的.此外 d_{14} 和 e_{11} 由于是通过 Y 切直接测得的,因此比通过 (7) (8) 式计算得到的 d_{11} 和 e_{14} 可能更精确,后者的精确度要受到 Y 切和 (γxl) - 30° 切两种样品的影响.总之,实验得到的压电常数中 d_{11} , d_{14} 和 e_{11} 应是较为准确的, e_{14} 的误差可能会稍大.

对于一种新型压电晶体,其介电、压电参数的测量精确度很大程度上取决于晶体的生长品质.目前,对 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的研究才处于开始阶段,相对于石英晶体,所生长的晶体尺寸较小、缺陷也较多,这就很难提供足够多的晶体切型来开展更加系统的测量工作.这是该类晶体材料压电性能报道较少的主要原因.因此,利用现有的性能参数尽可能地通过理论计算简化测量所需切型样品也是一项很有意义的工作.

(yx_l) θ 切型 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体面切变振动和厚度切变振动的有效压电常数 d'_{25} 和 e'_{26} 与切角 θ 的关系分别满足(7)和(8)式.将本实验测得的结果代入(7)(8)式中可以分别得到 d'_{25} 和 e'_{26} 随切角 θ 的变化曲线.

图2示出了(yx_l) θ 切型 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体压电常数 d'_{25} 随切角变化的理论计算曲线.从图2可以看出,压电常数 d'_{25} 在 $\theta = 35^\circ$ 、 215° 附近可以得到最大值,最大值约为 11.4×10^{-12} C/N,表明在这两个切角附近可以激发较强的面切变振动.同时,当 $\theta = 90^\circ$ 、 160° 、 270° 、 340° 附近时 d'_{25} 可以为零,表明在这四个切角附近面切变振动极弱.

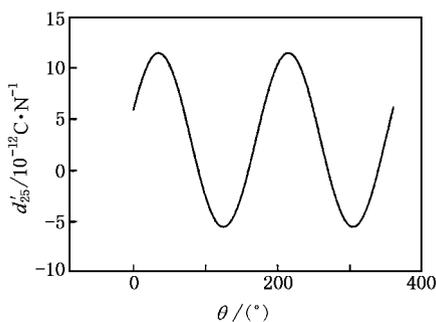


图2 (yx_l) θ 切型 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体压电常数 d'_{25} 随切角变化的理论计算曲线

图3示出了(yx_l) θ 切型 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体压电常数 e'_{26} 随切角变化的理论计算曲线.从图3可

以看出,压电常数 e'_{26} 的绝对值在 $\theta = 162^\circ$ 、 342° 附近可以得到最大值,最大值约为 0.515 C/m²,表明在该切角附近可以激发较强的厚度切变振动.同时,当 $\theta = 55^\circ$ 、 90° 、 235° 、 270° 附近时 e'_{26} 可以为零,表明在这四个切角附近厚度切变振动极弱.

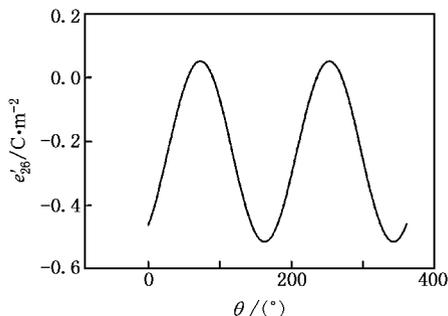


图3 (yx_l) θ 切型 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体压电常数 e'_{26} 随切角变化的理论计算曲线

从图2和图3得到的结果看,面切变振动和厚度切变振动在 $\theta = 90^\circ$ 、 270° 附近时不存在,这是因为(yx_l) θ 切型中 $\theta = 90^\circ$ 、 270° 时 Y' 轴与晶体坐标系的 Z 轴重合,而 32 点群压电晶体 Z 轴方向无压电效应.由于目前还未见关于 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的更多压电参数报道,因此图2和图3的结果可以作为今后进一步工作的参考.尽管 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 生长晶体的尺寸较小,但我们可以在此基础上优选压电性能较强的晶体切型来研究,这将大大提高晶体的利用效率.

4. 结 论

利用 Y 切和(yx_l) 30° 切两种样品测量了 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体的介电、压电和部分弹性参数,同时计算了(yx_l) θ 切型相关压电常数随切角的变化.与 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 晶体相比, $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 晶体具有较小的介电常数、较大的压电常数和机电耦合系数,是一种很有发展潜力的新型压电晶体材料.

[1] Kadota M, Nakanishi J, Kitamura T et al 1999 *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** 3288

[2] Stade J, Bohaty L, Hengst M et al 2002 *Cryst. Res. Technol.* **37** 1113

[3] Li Z F, Zhang P L, Zhao M L et al 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 726 (in Chinese) 李正法、张沛霖、赵明磊等 2003 物理学报 **52** 726

[4] Kang Y H, Jung I H, Joo K et al 2001 *J. Cera. Proc. Res.* **2** 170

[5] Jung H I, Kang Y H, Shim K B et al 2001 *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** 5706

[6] Jung H I, Yoshikawa A, Fukuda T et al 2002 *J. Alloys Comp.* **339** 149

- [7] Wang Z M , Cheng X F , Yuan D R *et al* 2003 *J. Cryst. Growth* **249** 240
- [8] Bechmann R 1958 *Phys. Rev.* **110** 1060
- [9] Wang J F , Chen C , Zhang L *et al* 1989 *Phys. Rev. B* **39** 12888
- [10] Wang Y , Jiang Y J , Zeng L Z *et al* 1996 *Acta Phys. Sin.* **45** 689
(in Chinese) 王 越、蒋毅坚、曾令祉等 1996 物理学报 **45** 689]
- [11] Bohm J , Chilla E , Flannery C *et al* 2000 *J. Cryst. Growth* **216** 293
- [12] Eichler H J , Ashkenasi D , Jian H *et al* 1994 *Phys. Stat. Sol. (a)* **146** 833
- [13] Adachi M , Karaki T , Miyamoto W 1999 *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** 3283
- [14] Kochurikhin V V , Kumatoriya M , Shimamura K *et al* 1997 *J. Cryst. Growth* **181** 452

Dielectric and piezoelectric properties of $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ crystal^{*}

Zhao Ming-Lei¹⁾ Wang Jin-Feng¹⁾ Yuan Duo-Rong²⁾
Wang Zeng-Mei²⁾ Wang Chun-Lei¹⁾ Wang Yuan-Xu¹⁾

¹⁾ School of Physics and Microelectronics , Shandong University , Jinan 250100 , China)

²⁾ State Key Laboratory of Crystal Materials , Shandong University , Jinan 250100 , China)

(Received 9 March 2004 ; revised manuscript received 1 July 2004)

Abstract

The dielectric , piezoelectric and some elastic constants of the $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ crystal had been determined by using Y cut and (yxl) -30° cut crystal samples . The calculated piezoelectric constants as functions of cut angle of $(yxl)\theta$ cut were also given . The $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ crystal showed superior piezoelectric properties with relatively large piezoelectric constants ($d_{11} = 7.93 \times 10^{-12}$ C/N , $d_{14} = -5.88 \times 10^{-12}$ C/N) compared with $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ crystal .

Keywords : $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ crystal , dielectric constant , piezoelectric constant

PACC : 7720 , 7760 , 7785

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50372034) and the Natural Science Foundation of Shandong Province , China (Grant No. Z2003F04) .