

Импульсная терагерцовая спектроскопия сегнетоэлектрических кристаллов с применением антиалиасной фильтрации

А.А. Рыбак^{1,2,*}, Н.А. Николаев^{1,2}, С.А. Кузнецов^{1,2,3}

¹ Институт автоматики и электрометрии СО РАН

² Новосибирский государственный университет

³ Новосибирский филиал Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

"КТИПМ", г. Новосибирск

* E-mail: a.rybak1@g.nsu.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.214-215

В данной работе рассматривается применение высокоэффективных емкостных микроструктур в качестве антиалиасных (anti-aliasing) фильтров (фильтров нижних частот, ФНЧ) в импульсной терагерцовой спектроскопии (ИТС) при исследовании оптических и диэлектрических свойств двух сегнетоэлектрических кристаллов, условно представляющие крайние случаи проявления их природы. Первый кристалл — это титанил-фосфат калия (KTiOPO_4 , или КТР), который является жестким сегнетоэлектриком. Кристаллы КТР, широко распространенные в нелинейной оптике, также обладают высоким потенциалом в качестве генераторов терагерцовых частот [1]. Второй кристалл — это ниобат бария-стронция ($\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$, SBN-75), который обладает размытым фазовым переходом вблизи комнатной температуры, вследствие чего его относят к мягким сегнетоэлектрикам, или релаксорам. Предположительно на терагерцовых частотах значение электрооптического коэффициента данного кристалла должно принимать большие значения, что закладывает его потенциал, как эффективного сверхвысокочастотного модулятора.

Ранее нами показано, что метод антиалиасной фильтрации, заключающийся в применении ФНЧ и увеличении интервала дискретизации, а также пропорциональном увеличении времени интегрирования сигнала, позволил сократить время измерения до 12 раз при повышении точности измерений за счёт нивелирования долговременного дрейфа сигнала спектрометра. Такой подход позволяет увеличить динамический диапазон и отношение сигнал/шум спектрометра в субтерагерцовом диапазоне [2].

С помощью данного метода нам удалось определить оптические терагерцовые свойства кристаллов КТР в диапазоне 0,2-1 ТГц в диапазоне температур $-192 \div +150$ °С при сокращении времени измерения до 5 раз. Исследована температурная зависимость оптических свойств кристаллов КТР в субтерагерцовой области спектра. Изменение трёх главных компонент показателя преломления кристалла описаны универсальными выражениями Зельмейера, зависящими от температуры. Показано, что коэффициенты выражений Зельмейера демонстрируют близкие к линейной температурные зависимости, что свидетельствует о незначительном влиянии ионного механизма проводимости кристалла на оптические свойства в терагерцовом спектральном диапазоне [3].

Также данный подход был применен при исследовании комплексной диэлектрической проницаемости кристалла SBN75 в субтерагерцовой области в диапазоне температур $+25 \div +200$ °С, не смотря на низкое пропускание образцов. В случае с SBN-75, обладающего пропусканием менее -30 дБ при толщине 160 мкм, вклад алиасинга с амплитудой -40 дБ оказался сопоставим с уровнем полезного сигнала, поэтому потребовалась дополнительная фильтрация.

Полученные данные согласуются с результатами, полученными ранее другими научными группами [4]. Показано, что характер и спектр диэлектрической проницаемости в диапазоне 0,2—1 ТГц для излучения, поляризованного ортогонально полярной оси кристалла, не меняется с температурой, в то время как для излучения, поляризованного вдоль полярной оси, наблюдается рост диэлектрической проницаемости при нагреве до 100 °С и последующее уменьшение при дальнейшем нагреве кристалла, соответствующее уширенному фазовому переходу характерному для сегнетоэлектриков релаксорного типа. Полученная информация о комплексной диэлектрической проницаемости кристалла SBN-75 позволит на его основе разрабатывать оптические и электронные устройства, в которых требуются среды с большими значениями диэлектрической проницаемости.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Института автоматики и электрометрии СО РАН (#FWNG-2024-0025) и Новосибирского государственного университета (#FSUS-2024-0020). Авторы выражают благодарность Центру коллективного пользования ЦКП «ВТАН» физического факультета НГУ за технологическую поддержку и Центру коллективного пользования «Спектроскопия и оптика» ИАиЭ СО РАН за оказанную инструментальную поддержку.

Литература

- [1] Mamrashev A. et al. Optical Properties of KTP Crystals and Their Potential for Terahertz Generation: 8 // Crystals. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2018. Vol. 8, № 8. P. 310.
- [2] Рыбак А.А., Николаев Н.А., Кузнецов С.А., Yang S.H. Применение емкостных микроструктур в качестве антиалиасных фильтров для задач широкополосной импульсной терагерцовой спектроскопии // Автометрия. 2020. Т. 56. № 1. С. 101-108.
- [3] Rybak A., Antsygin V., Mamrashev A., Nikolaev N. Terahertz optical properties of KTiOPO₄ crystal in the temperature range of –192 – +150°C // Crystals. 2021. Т. 11. № 2.
- [4] Kersten O., Rost A., Schmidt G. Dielectric dispersion of relaxor ferroelectrics (SBN 75 and PLZT 8/65/35) // physica status solidi (a). 1983. Vol. 75, № 2. P. 495–500.