

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИЕМНИКОВ

© 2016 г. А.В. БОРОДИН

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени
ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону

Основной характеристикой пироэлектрического кристалла, непосредственно определяемой в эксперименте, является тензор первого ранга γ – вектор пироэлектрических коэффициентов (измеряется не сама спонтанная поляризация, а ее изменение с температурой). Поэтому обнаружить пироэлектрические свойства кристалла позволяет изменение его температуры, приводящее, в конечном счете, к возникновению поверхностного заряда на гранях образца, перпендикулярных к особенной полярной оси. Описанное явление и носит название пироэлектрического эффекта. С каждым годом увеличиваются масштабы применения устройств, основанных на пироэлектрическом эффекте, - в промышленности, медицине, космической технике, научном приборостроении, системах охранной сигнализации, в военной технике. Появляется специальная литература, посвященная описанию особенностей пироэлектрического эффекта и его практическим применениям [1,2].

Поиск новых пироэлектриков теснейшим образом связан с улучшением качества материалов, предназначенных для создания высокочувствительных и малоинерционных пироэлектрических приемников излучения (ППИ), пировидиконов и других пироэлектрических устройств. Пироэлектрики демонстрируют наличие поляризованности, которая изменяет свою величину P_s с изменением температуры образца. При тепловом равновесии связанные заряды нейтрализуются (экранируются) свободными зарядами, накапливающимися на электродах или в поверхностных (приэлектродных) слоях. Экранирование нарушается при изменении температуры, и возникает электрический ток, который можно выразить в виде:

$$I = -A_0 \frac{dP_s}{dt} = -A_0 \frac{dP_s}{dT} \cdot \frac{dT}{dt} = -A_0 \gamma \frac{dT}{dt},$$

где A_0 - площадь электродов, γ - пироэлектрический коэффициент.

Среди полярных диэлектриков особое место занимают сегнетоэлектрики – нелинейные пироэлектрики, составляющие обширную подгруппу пироэлектрических кристаллов и являющиеся наиболее яркими их представителями. Самые значительные свойства сегнетоэлектриков - обратимость поляризации под действием электрического поля, аномальные диэлектрические характеристики и нелинейности. Сам факт возможности изменения спонтанной поляризации при изменении внешнего электрического поля играет весьма важную роль. Именно характером этого изменения определяется принцип разделения всех пироэлектрических кристаллов на две группы: линейные пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Линейные пироэлектрики, такие как резорцин, турмалин, канкринит, моногидрат сульфата лития и его изоморфы, сульфид кадмия, обладают необратимой спонтанной поляризацией во всем температурном интервале вплоть до точки плавления (разложения), существуя, таким образом, всегда лишь в пироэлектрической модификации, не претерпевая фазовых переходов [3].

Среди пьезоэлектрических приемных устройств в настоящее время наибольшее распространение получили пьезоэлектрические приемники излучения – первые быстродействующие тепловые приемники излучения, работающие при комнатных температурах. Кроме того, пьезоэлектрический эффект используется для создания тепловых преобразователей изображения – пировидиконов, пьезоэлектрических датчиков теплового потока и температур, пирокатарометров. Их достоинствами являются неселективность спектральной характеристики в широком интервале длин волн и температурная стабильность энергетических и временных характеристик. ППИ можно изготавливать как емкостные элементы с очень малыми и большими размерами приемной площадки. ППИ достаточно технологичны для организации производства серийного выпуска и не требуют дополнительных источников питания.

Своим становлением и быстрым развитием ППИ обязаны бурному развитию лазерной техники. По совокупности параметров ППИ наиболее полно удовлетворяют лазерным задачам и в настоящее время являются одними из наиболее употребительных лазерных приемников. Широкий динамический диапазон, неселективность и быстродействие ППИ позволяют регистрировать непрерывные, импульсные и импульсно-модулированные потоки лазерного излучения. ППИ широко используется для регистрации импульсного лазерного излучения. При этом возможны два режима работы приемника – измерение формы импульса (импульсной мощности) и измерение энергии излучения. Быстродействие ППИ определяется следующими факторами: электрической постоянной времени входной цепи, теплофизическими и оптическими характеристиками поглощающего электрода или поверхностного слоя чувствительно элемента и скоростью установления поляризации в пироактивном материале. Электрическую постоянную времени можно регулировать, изменяя нагрузочное сопротивление R_H . Однако при этом соответствующим образом изменяется вольт-ваттная чувствительность ППИ. Более эффективным является высокочастотная коррекция ППИ, позволяющая достигать оптимального соотношения сигнал/шум. При регистрации импульсов излучения наносекундной длительности с помощью ППИ продольного типа переходная (импульсная) характеристика приемника зависит от тепловых и оптических свойств поглощающего электрода. Когда поглощение происходит на облучаемом электроде, постоянная времени ППИ определяется временем его тепловой диффузии и составляет $10^{-5} - 10^{-7}$ с. Если облучаемым электродом служит прозрачная пленка толщиной 0,005 – 0,01 мкм, то можно регистрировать кратковременные импульсы пикосекундной длительности при 50%-ном поглощении излучения в спектральном диапазоне 0,3 – 50 мкм [4].

Полостные ППИ обладают высокой поглощательной способностью за счет геометрической формы, равномерность их спектральной характеристики охватывает большие спектральные диапазоны. Практически такие ППИ могут быть использованы на очень широком участке электромагнитного излучения – $10^{-3} - 10^4$ мкм (от $3 \cdot 10^{10}$ до $3 \cdot 10^{17}$ Гц). Поглощательную способность полостных ППИ сферического типа можно определить с помощью приближенного соотношения [5]

$$\eta = 1 - \frac{\pi r_0}{(D_0 / R_{\text{отв}})^2}.$$

где r_0 – коэффициент отражения, D_0 – диаметр сферы, $R_{\text{отв}}$ – радиус входного отверстия. В спектральном диапазоне 0,2 – 1500 мкм, когда внутренняя поверхность сферы покрыта золотой чернью, при отношении $D_0 / R_{\text{отв}} \geq 10$ поглощательная способность приемника составляет 0,99.

Имеется еще одна возможность использования полостных ППИ – измерение интенсивных потоков излучения. В этом случае внутреннюю поверхность сферы покрывают тугоплавким слоем с большой отражательной способностью. При облучении происходит перераспределение радиационного потока, проходящего через входное окно, по всей внутренней поверхности сферы, и плотность первичного излучения

уменьшается во много раз. При этом верхняя граница динамического диапазона ППИ, по сравнению с плоским вариантом, расширяется.

Пироэлектрические приемники теплового и электромагнитного излучений имеют высокую чувствительность и в отличие от полупроводниковых приемников не нуждаются в специальном охлаждении. Пироприемники отличаются низким коэффициент шумов и широким спектральным диапазоном – возможность индикации излучений, имеющих собственную частоту $10^9 - 10^{20}$ Гц (от сантиметровых волн до рентгеновских и даже гамма-лучей). Вследствие особенностей пироэффекта (электрической компенсации постоянной внутренней поляризации) пироприемники реагируют только на переменную часть потока излучения, причем скорость изменения этого потока (его модуляция) может достигать 10^6 Гц. В больших пределах может изменяться и диапазон регистрируемых мощностей излучения – от 10^{-9} до 10^9 Вт. Можно измерять также параметры мощных импульсов излучений длительностью $10^{-5} - 10^{-11}$ с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барфут Дж., Тейлор Дж. Полярные диэлектрики и их применения. – М.: Мир, 1981, с. 526
2. Косоротов В.Ф. и др. Пироэлектрический эффект и его практические применения. – Киев: Наук. Думка, 1989, с. 224
3. Бородин А.В., Захаров Ю.Н., Бородин В.З. Пироэлектрические свойства сегнетокерамики типа ЦТС в области морфотропного фазового перехода. - Известия РАН. Серия физическая. т.71, номер 5, 2007г., с.709 -710.
4. Кладкевич М.Д., Кременчугский Л.С. К вопросу об инфранизкочастотной дисперсии пироэлектрического коэффициента и диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков. – УФЖ.-1969.-14, №5.-с.815-817.
5. Di Domenico M., Wemple S.H. Paraelectric – ferroelectric phase boundaries in semi-conducting perovskite type-crystals. Phys.Rev.- 1967.-155, №2.-p.539-545.