Экспериментальное исследование контактной акустической нелинейности при взаимодействии поверхностных акустических волн с трещиноватыми дефектами

Коршак Ю.Б.
аспирантка
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
E–mail: jkorshak@mail.ru

Сравнительно недавно в поле исследований акустики попали нелинейные процессы, развивающиеся при распространении упругих волн в твердых телах с неоднородностями внутренней структуры [1]. В настоящий момент такие исследования относятся к одному из наиболее перспективных и бурно развивающихся направлений нелинейной акустики, и являются основой целого ряда практических разработок в области нелинейной акустодиагностики твердых тел [2].

Взаимосвязь неоднородности структуры твердого тела с его нелинейными акустическими свойствами дает возможность получить информацию о наличии дефектных областей(трещин, пустот, отслоений и т.п.), находящихся в толще твердого тела. В связи с этим, необходимо изучение нелинейных свойств элементов структурных неоднородностей, а так же исследование нелинейных акустических процессов, развивающихся при распространении акустических волн в структурно-неоднородных телах [3]. Большой класс нелинейных эффектов, обусловленных неоднородностью структуры твердого тела, связан с проявлениями контактной акустической нелинейности. Этот тип нелинейности характерен для твердых тел, содержащих такие неоднородности структуры, как макро- и микротрещины, различного рода отслоения, зерна, нелинейные свойства которых определяются динамикой макромасштабных элементов пространственной неоднородности (нелинейной упругостью границ зерен, контактов и дефектных включений). При этом большинство эффектов, связанных с проявлением контактной акустической нелинейности в твердых телах, на настоящий момент остается малоизученными.

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению нелинейных эффектов, развивающихся при взаимодействии поверхностных акустических волн с реальными трещиноватыми дефектами в твердом теле.

В качестве исследуемого объекта была выбрана трещина на поверхности подложки кристалла $LiNbO_3$ yz-среза (рис. 1). Образец представлял собой пластину прямоугольной формы (60x12x2 мм). Апертура поверхностной трещины составляла около 10 мм. Трещина располагалась поперек образца и имела изрезанную форму.

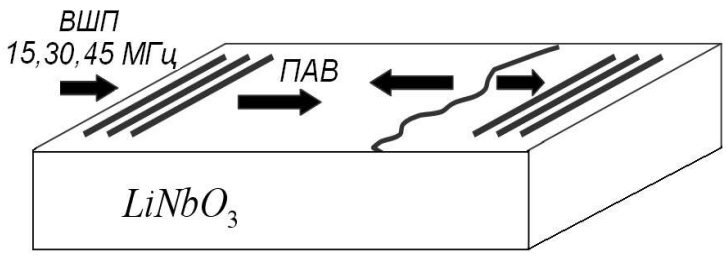

рис.1

Трещина облучалась импульсами поверхностных волн длительностью 0,2-5 мкс и частотами 15, 30 и 45МГц, возбуждение которых производились встречно-штыревыми преобразователями (ВШП), нанесенными на поверхность кристалла. Развитие нелинейных процессов наблюдалось в поле отраженной от трещины волны. Используя разные ВШП в качестве приемников и излучателей, можно было исследовать генерацию высших гармоник и волн комбинационных частот. Динамические характеристики генерации высших гармоник приведены на рис. 2, 3, 4.

Как видно из рис. 2, 4 амплитуды генерации второй гармоники и волны комбинационной частоты нарастают плавно и обладают гистерезисом. Однако, динамика роста третьей гармоники обладает качественно иными свойствами (рис.3). Видно, что в области амплитуд Uвх ~ 13 В генерация третьей гармоники носит явно выраженный пороговый характер, а при дальнейшем увеличении амплитуд входного сигнала наблюдается плавное увеличение сигнала третьей гармоники.

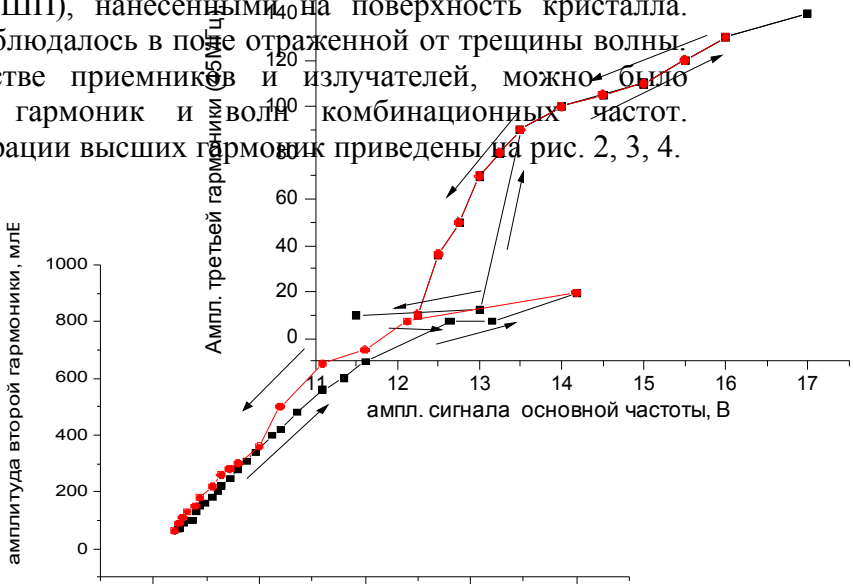

рис. 2

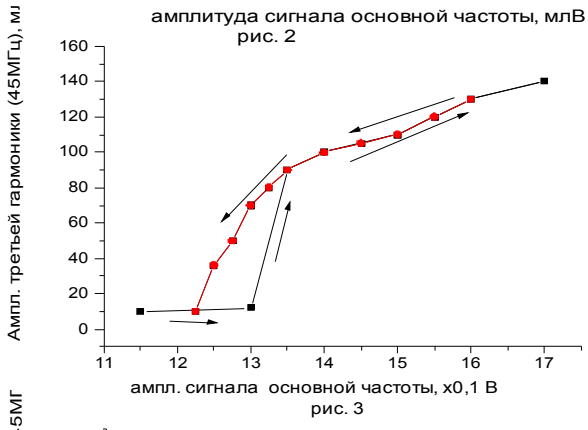

рис. 3

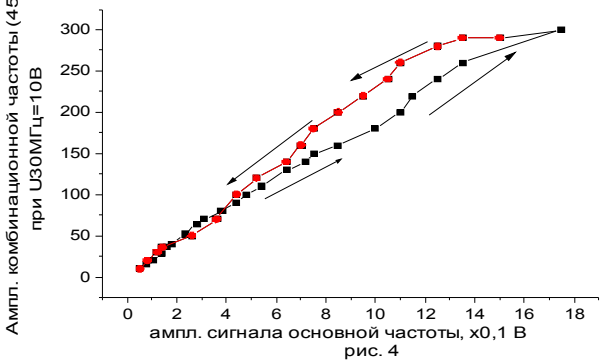

рис. 4

Объяснение подобного характера динамических зависимостей может быть сделано опираясь на следующую модель трещины: под воздействием акустической волны трещина ведет себя как система связанных нелинейных осцилляторов. В этом предположении в случае генерации второй гармоники и волны комбинационной частоты имеют место вынужденные колебания связанных осцилляторов (микротрещин), для которых наличие и рост гармоник обусловлен контактной акустической нелинейностью.

В случае генерации третьей гармоники проявляются резонансные свойства дефекта – пороговым образом возбуждаются колебания, соответствующие нелинейному резонансу трещины. Необходимо отметить, что здесь наблюдается «жесткий» режим возбуждения колебаний на третьей гармонике вынуждающей силы, а обратное движение по амплитуде выявляет гистерезисный характер. Подобный гистерезис может быть объяснен наличием инерционности механических нелинейных осцилляторов.

Литература

1. Солодов И.Ю., Коршак Б.А., Баллад Е.М. (2002) Неклассические свойства, эффекты и проявления контактной акустической нелинейности в твердых телах // Сборник трудов семинара научной школы профессора В.А. Красильникова, стр. 114-129.
2. Руденко О.В. (1993) Нелинейные методы в акустической диагностике // Дефектоскопия, №8, стр. 24-32.
3. Руденко О.В. (2006) Гигантские нелинейности структурно-неоднородных сред и основы методов нелинейной акустической диагностики // УФН, № 1, т. 176, стр.77-95.