

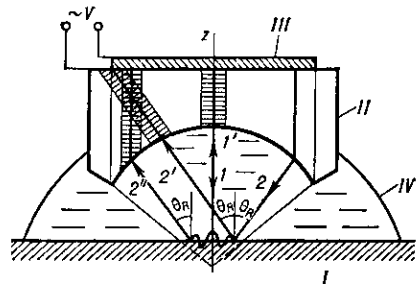
поверхности падают на преобразователь по нормали. Поэтому для получения изображения в прошедших лучах используется т. н. конфокальная система — пара акустич. линз, фокусы к-рых совмещены, как показано на рис. 2. В режиме «на отражение» одна и та же линза используется как для получения фокусир. пучка, так и для приёма УЗ-волн. Акустич. изображение в режиме «тёмного поля» создаётся лучами, рассеянными объектом; для его получения приёмную линзу в конфокальной системе отклоняют от акустич. оси системы так, чтобы она собирала рассеянные лучи. Ещё один режим работы акустич. микроскопа — нелинейный — можно осуществить, если принимать акустич. излучение не на осн. частоте возбуждаемого звукового пучка, а на её гармониках.

Звукопроводы акустич. линз изготавливаются из материалов с высокой скоростью продольных акустич. волн (сапфир Al_2O_3 , кварц и др.), в качестве иммерсионных жидкостей используются вода, жидкий гелий, жидкие металлы (ртуть, галлий и др.), нек-рые органич. жидкости. Показатели преломления n на границах раздела таких сред достигают значит. величины; так, для системы вода — сапфир $n = 7,4$. Для того чтобы уменьшить потери на поглощение звука в иммерсионной жидкости и улучшить разрешение, используются линзы с малыми радиусами кривизны (вплоть до сотен и десятков микрон для гиперзвуковых частот) и большими углами раскрытия θ_m (обычно $\theta_m \sim 100^\circ - 120^\circ$). Вследствие большой разницы скорости распространения в звукопроводе и в иммерсионной жидкости абберации в линзовых системах акустич. микроскопов малы даже при больших θ_m . Структура фокуса определяется дифракц. эффектами, и размеры фокальной области оказываются порядка длины УЗ-волны λ . Разрешение акустич. микроскопа, характеризуемое радиусом фокального пятна $a = 0,61 c/f \cdot \sin(\theta_m/2)$, зависит от частоты f , на к-рой микроскоп работает. В диапазоне частот от 50 МГц до 3 ГГц разрешение в акустич. микроскопах, использующих в качестве иммерсии воду (скорость звука $c \approx 1,5 \cdot 10^6$ см/с), меняется от 20 до 0,5 мкм, конкурируя на высоких частотах с разрешением оптич. микроскопов. Использование в качестве иммерсии сверхтекучего гелия при темп-рах ниже $0,2^\circ K$ ($c \approx 0,24 \times 10^6$ см/с) существенно улучшает разрешение микроскопа: уже на частоте 2 ГГц оно составляет ок. 90 нм.

Контраст акустич. изображений определяется вариациями разл. физ.-механич. свойств материала и геом. параметров образца в зависимости от режима работы микроскопа. Режим «на отражение» обычно используется для изучения поверхности и поверхностного слоя у хорошо отражающих твёрдых тел (кристаллов, шлифов минералов и сплавов и др.). При отражении сходящегося пучка с достаточно большим углом раскрытия θ_m в жидкости помимо зеркально отражённых лучей распространяются также лучи, возникающие в результате возбуждения падающим пучком на границе раздела вытекающих поверхностных волн и боковых волн (волн в твёрдом теле, распространяющихся вдоль границы раздела и переизлучающихся в жидкость — см. *Отражение звука*). В большинстве материалов скорость распространения поперечных акустич. волн заметно больше скорости звука в иммерсионной жидкости, и для них осн. роль играют эффекты, связанные с вытекающими *Рэлея волнами*, к-рые возбуждаются УЗ-волнами, падающими на границу раздела под т. н. рэлеевским углом $\theta_R = \arcsin(c/c_R)$, где c_R — скорость рэлеевской волны на свободной поверхности образца (рис. 3). При распространении вдоль границы раздела возбуждённая волна переизлучается обратно в жидкость под углом θ_R в виде семейства лучей, исходящих из разл. точек поверхности раздела. Когда поверхность образца I помещается в фокальную плоскость акустич. линзы II , выходной сигнал на преобразователе III формируется только лучами, зеркально отражёнными от поверхности образца. Акустич. изображение передаёт

распределение на поверхности образца коэф. отражения, интегрального по углу падения. Из-за большой разницы *волновых сопротивлений* образца I и иммерсионной жидкости IV коэф. отражения близок к единице

Рис. 3. Ход лучей в сканирующем акустическом микроскопе «на отражение». Поверхность объекта I смещена из фокальной плоскости микроскопа в сторону линзы II . I' и I'' — падающий и отражённый параксиальные лучи; 2 — луч, падающий на поверхность объекта под рэлеевским углом θ_R ; $2'$ — луч, зеркально отражённый под углом θ_R ; $2''$ — луч, переизлучённый под углом θ_R в иммерсионную жидкость IV в результате образования вытекающей рэлеевской волны. Сигнал на преобразователе создаётся лучами I' и $2''$.



даже при значит. изменениях упругих свойств образца, и контраст акустич. изображений слабый. Для улучшения контраста исследуемую поверхность смещают из фокальной плоскости по направлению к линзе. При её смещении выходное электрич. напряжение V на преобразователе возникает как интерференция сигналов, создаваемых параксиальными отражённым лучом I' и лучом $2''$, переизлучённым вытекающей рэлеевской волной и проходящим через мнимый фокус в иммерсионной жидкости (рис. 3). Акустич. пути, проходимые лучами I' и $2''$, различны, и выходное напряжение V при движении объекта вдоль акустич. оси линзы будет меняться периодически, образуя ярко выраженные максимумы и минимумы (рис. 4) при положит. смещениях z (когда объект приближается к линзе). Расстояние Δz между соседними минимумами (максимумами) не зависит от номера минимума, а определяется только величиной скорости рэлеевских волн на поверхности исследуемого материала:

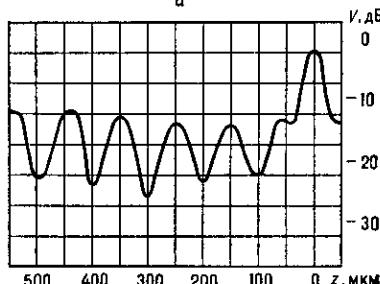
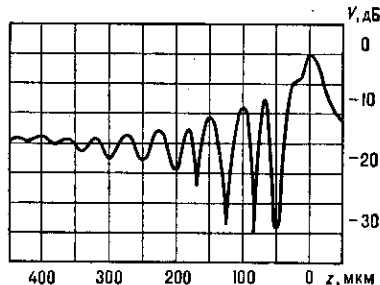


Рис. 4. $V(z)$ -характеристика для α -кварца Y-срезы (а) и сапфира Z-срезы (б) с водой в качестве иммерсионной жидкости.

$$\Delta z = \frac{1}{2} \frac{c_R}{f} \frac{1 + \cos \theta_R}{\sin \theta_R}$$

Зависимость V от z определяется акустич. свойствами материала образца, поэтому она получила назв. $V(z)$ -характеристики материала или его акустич. сигнатуры. Подбором смещения z можно получить высокий акустич. контраст даже при небольших изменениях упругих параметров в образце ценой, однако, уменьшения разрешающей силы микроскопа.

Поскольку в формировании выходного сигнала в микроскопе при работе «на отражение» участвуют вытекающие рэлеевские волны, акустич. изображения передают структуру не только самой поверхности образца, но и приповерхностного слоя, толщина к-рого определяется глубиной проникновения рэлеевской волны в образец.