

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

С. А. Ахманов, М. Ф. Галяутдинов,
Н. И. Коротеев, Г. А. Пайтян, А. А. Сум-
батов, И. Б. Хайбуллин, Е. И. Штыр-
ков, И. Л. Шумай, Определение степе-
ни разупорядочения поверхности нецентро-
симметричного полупроводника по генера-
ции оптических гармоник и суммарных ча-
стот, *Письма в ЖТФ*, 1984, том 10, вы-
пуск 18, 1118–1122

Использование Общероссийского математического портала
Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны
с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.172

15 февраля 2025 г., 19:54:26



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ РАЗУПОРЯДОЧЕНИЯ
 ПОВЕРХНОСТИ НЕЦЕНТРОСИММЕТРИЧНОГО
 ПОЛУПРОВОДНИКА ПО ГЕНЕРАЦИИ
 ОПТИЧЕСКИХ ГАРМОНИК И СУММАРНЫХ ЧАСТОТ

С.А. А х м а н о в, М.Ф. Г а л я у т д и н о в,
 Н.И. К о р о т е е в, Г.А. П а й т я н,
 А.А. С у м б а т о в, И.Б. Х а й б у л л и н,
 Е. И. Ш т ы р к о в, И.Л. Ш у м а й

1. Предметом настоящего письма является изложение нового подхода к изучению степени аморфизации поверхности нецентросимметричного кристалла (на примере $GaAs$) путем измерения эффективности квадратичных нелинейных оптических процессов при отражении зондирующего лазерного излучения от исследуемого участка поверхности — генерации второй гармоники (ГВГ) и суммарной частоты (ГСЧ). Экспериментально показано, что эти нелинейные оптические процессы, весьма чувствительные к наличию дальнего порядка в тонком приповерхностном слое зондируемого образца, могут служить эффективным и достаточно простым средством контроля степени аморфизации этого слоя. Результаты по ГВГ и ГСЧ допускают прямое сопоставление с данными обратного резерфордского рассеяния (ОРР) α -частиц для ионно-имплантированных образцов и показывают значительно более высокую чувствительность к изменению степени разупорядочения, чем данные ОРР.

2. Процесс ГВГ при отражении от поверхности ионно-имплантированного образца $GaAs$ был недавно использован нами для исследования динамики плавления и рекристаллизации приповерхностного слоя $GaAs$ в процессе лазерного отжига [1]. В настоящей работе этот же нелинейнооптический эффект, а также близкий к нему эффект ГСЧ применен для определения степени и характера разупорядочения поверхности $GaAs$ в результате бомбардировки ионами Te и S с энергией 80 кэВ и дозами имплантации $D = 1.10^{12} \dots 6.10^{15} \text{ см}^{-2}$, а также в результате "лазерной аморфизации". Использовались образцы $GaAs$ среза (100), поверхность которых до ионной бомбардировки или лазерного облучения была подвергнута механической полировке с последующим химическим травлением.

В качестве зондирующего использовалось излучение лазера на $Nd:YAG$ с непрерывной накачкой и сдвоенной акусто-оптической модуляцией добротности и синхронизацией мод [2]. Лазер генерировал следовавшие друг за другом с частотой $f = 1 \text{ кГц}$ гачки из ~ 40 импульсов на длине волны $\lambda = 1.06 \text{ мкм}$ с длительностью 0.5 нс и интервалом между соседними импульсами 9 нс. Использование такого лазера позволило достаточно легко регистрировать искомые нелинейные эффекты при отражении от поверхности (при использовании синхронной обработки сигнала и накопления в памяти микро — ЭВМ) вследствие достаточно высокой пиковой интенсивнос-

Рис. 1. Зависимость параметра аморфизации по генерации второй гармоники η_{BG} от дозы имплантации ионами Te^{++} (энергия 80 кэВ).

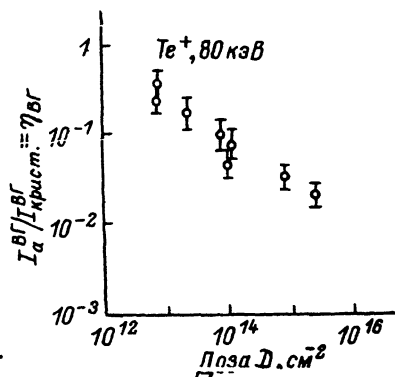
ти отдельных импульсов (около 200 кВт), и в то же время не приводило к заметным изменениям свойств зондируемого участка из-за относительно небольшой средней мощности (< 4 Вт).

Сигналы ГВГ и ГСЧ регистрировались после пространственной и спектральной фильтрации с помощью ФЭУ-106 и селективного усилителя, настроенного на частоту f .

3. В первой серии экспериментов регистрировался сигнал ВГ с длиной волны $\lambda = 0,53$ мкм. Снимались поляризационные зависимости сигнала ВГ от угла ориентации плоскости поляризации излучения лазера по отношению к плоскости падения для имплантированного и неимплантированного участков поверхности одного и того же образца. Характер этой зависимости был в обоих случаях одинаков (и для кристаллического участка совпадал с рассчитанной по данным работы [3]), но интенсивность ВГ от имплантированной части поверхности кристалла была на 1...2 порядка меньше в зависимости от дозы.

На рис. 1 приведена зависимость от дозы D интенсивности ВГ при отражении от поверхности $GaAs$ в той или иной мере разупорядоченной бомбардировкой ионами Te^{++} , нормированная на интенсивность ВГ от неимплантированного участка поверхности того же образца при одинаковой ориентации кристаллографических осей. Эта величина может служить количественной характеристикой степени разупорядочения поверхности, поскольку как видно из рис. 1, зависимость $\eta_{BG} = \eta_{BG}(D)$ является достаточно резкой, и отражает потерю дальнего порядка первоначально нецентросимметричного кристалла с ростом дозы имплантации.

4. Еще более сильной зависимостью от дозы имплантации обладает величина $\eta_{c4} = I_{\alpha}^{c4} / I_{\kappa}^{c4}$, где I_{α}^{c4} - интенсивность сигнала суммарной частоты с длиной волны $\lambda = 0,35$ мкм, получаемого от имплантированной поверхности $GaAs$ путем смешения основного излучения (частота ω) и его второй гармоники (2ω), предварительно генерировавшейся в кристалле $LiIO_3$; I_{κ}^{c4} - то же для неимплантированного участка кристалла (см. рис. 2, а, б). Отличие зависимостей $\eta_{c4}(D)$ и $\eta_{BG}(D)$ связано с тем, что первая величина, η_{c4} , характеризует степень разупорядочения более тонкого приповерхностного слоя, чем величина η_{BG} , поскольку



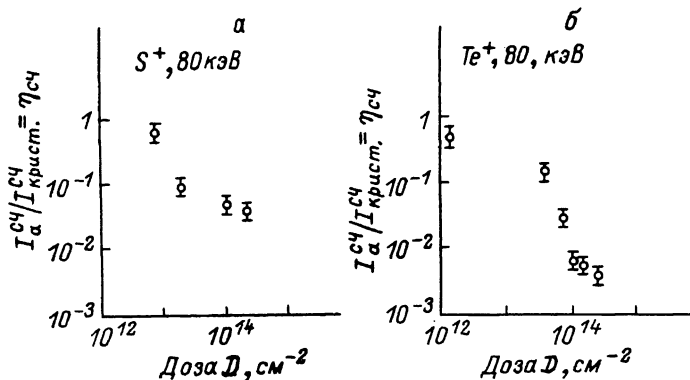


Рис. 2. Зависимость параметра аморфизации по генерации суммарной частоты $\eta_{сч}$ от дозы имплантации ионами $Te^{++}(\delta)$, $S^{++}(a)$ (энергия 80 кэВ).

каждый из этих сигналов эффективно генерируется в слое, толщиной порядка длины поглощения, $l_{погл.}$, излучения с соответствующей длиной волны ($\lambda = 0.35$ мкм для СЧ и $\lambda = 0.53$ мкм для ВГ), а даже в кристаллическом $GaAs$, $l_{погл.}(0.35 \text{ мкм}) \approx 15 \text{ нм}$, тогда как $l_{погл.}(0.53 \text{ мкм}) \approx 150 \text{ нм}$.

5. В физике поверхности степень разупорядочения поверхностного слоя кристалла до сих пор принято характеризовать сравнением спектров ОРР исследуемого и эталонного участков кристалла [4], причем количественной характеристикой обычно служит величина $\eta_{орр}$ отношения площадей под энергетическими спектрами рассеяния α -частиц в определенном энергетическом интервале для двух участков образца. Зависимости введенной таким образом степени разупорядочения $\eta_{орр}$ от дозы имплантации, полученные методом ОРР для тех же исследованных ранее нелинейно-оптическими методами образцов, приведены на рис. 3. Отметим, что глубина распределения имплантированных ионов в приповерхностном слое $GaAs$ в нашем случае составляет $\sim 40 \dots 60 \text{ нм}$, и величина $\eta_{орр}$ эффективно характеризует степень аморфности слоя именно этой толщины. Как можно видеть, зависимость $\eta_{орр}(D)$ является существенно менее ярко выраженной, чем $\eta_{сч}(D)$ и $\eta_{вг}(D)$.

6. В отдельной серии экспериментов мы использовали развитую технику ГСЧ для регистрации разупорядочения поверхности $GaAs$ под действием лазерного излучения с длительностью импульса $\tau = 30 \text{ пс}$ и длиной волны $\lambda = 0.53 \text{ мкм}$ и $\lambda = 0.265 \text{ мкм}$ („лазерная аморфизация“ – см., например, [5, 6]). Мы легко обнаруживали области аморфизации при сканировании сфокусированных зондирующих лучей (диаметр 0.1 мм) вдоль поверхности образца по уменьшению сигнала ГСЧ в 5...10 раз по сравнению с кристаллическим участком.

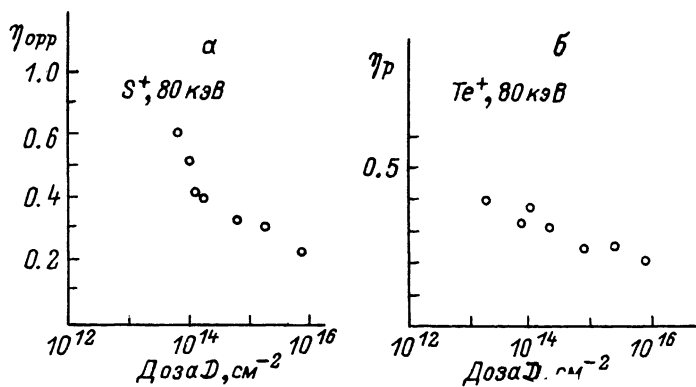


Рис. 3. Зависимость параметра аморфизации по обратному резерфордовскому рассеянию η_{opp} от дозы имплантации ионами $S^{++}(\alpha)$ и $Te^{++}(\delta)$ (энергия 80 кэВ).

7. Таким образом, мы показали, что нелинейно-оптические методы (ГВГ и ГСЧ при отражении) являются эффективным средством контроля состояния и фазовых превращений поверхности нецентросимметричных кристаллов типа *GaAs* и позволяют получать необходимые данные быстро, с высоким временным и пространственным разрешением.

Авторы благодарны А.А. Абдуллаеву за помощь при наладке системы регистрации.

Л и т е р а т у р а

- [1] А х м а н о в С.А., Г а л я у т д и н о в М.Ф., К о р о т е е в Н.И., П а й т я н Г.А., Х а й б у л л и н И.Б., Ш т ы р к о в Е.И., Ш у м а й И.Л. Генерация второй гармоники при лазерном отжиге поверхности арсенида галлия. - Квантовая электроника, 1983, т. 10, № 6, с. 1077-1078.
- [2] A k h m a n o v S.A., G a l j a u t d i - n o v M.F., K o r o t e e v N.I., P a i - t i a n G.A., K h a i b u l l i n I.B., S h t y r k o v E.I., S h u m a y I.L. Pulsed-laser annealing of GaAs surface studied by time-resolved second harmonic generation in reflection. - Opt. commun., 1983, v. 43, (3), p. 202-203.
- [3] Б л о м б е р г е н Н. Нелинейная оптика. - М.: Мир, 1966.
- [4] D e l l a M e a G., D r i g o A.V., M a z - z o l d i P., N a r d e l l i G., Z a n n o n i R. Disorder in implanted semiconductors: Energy dependence and penetration depth. - Phys. stat. sol. (a), 1971, v. 4, (3), p. 797-804.

- [5] Алферов Ж.И., Ковальчук Ю.В., Смольский О.В., Соколов И.А. Аморфизация монокристаллического арсенида галлия под действием пикосекундных световых импульсов. — Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, с. 897–901.
- [6] Liu P.L., Yen R., Blombergen N., Hodson R.T. — Appl. Phys. Lett., 1979, v. 34, p. 864–866.

Поступило в Редакцию
24 мая 1984 г.

Письма в ЖТФ, том 10, вып. 18

26 сентября 1984 г. .

АКУСТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКА $LiNbO_3$

А. Х. Рожко

Механические разрушения ряда кристаллов сопровождаются явлениями люминесценции [1], свечением окружающего газа [2], эмиссией электронов в вакуум [3]. Авторы [4] наблюдали эмиссию фотонов и электронов в вакуум в условиях предшествующей разрушению пластической деформации щелочно-галогидных кристаллов. Нагружение ряда кристаллов, в том числе и $LiNbO_3$, акустическими волнами (АВ), начиная с некоторых пороговых мощностей АВ, вызывает их люминесценцию [5], а также возбуждает свечение окружающих газов [6], нанесенных на кристалл люминофоров [7, 8].

Целью работы является получение эмиссии электронов из кристалла $LiNbO_3$ в окружающее пространство (вакуум, газовая среда) в условиях распространяющихся в кристалле АВ Лэмба.

Для экспериментов использовались плоскопараллельные пластинки $LiNbO_3$ (xz -срез) толщиной от 0.5 до 1.2 мм и линейными размерами от нескольких мм до 1.5 см. Кристаллы помещались в вакуум порядка 10^{-7} Па. В процессе откачки образцы выдерживались при температуре 700 К на протяжении 12 часов. Блок-схема измерений приведена на вставке рис. 1. Образцы находились в темноте при комнатной температуре. АВ Лэмба возбуждались за счет собственного пьезоэффекта кристаллов. Переменное напряжение (U), частотой соответствующей механическому резонансу по толщине кристалла, прикладывалось к установленным на противоположные грани у одного из торцов кристалла электродам. К покрытому слоем проводящего люминофора аноду прикладывалось постоянное напряжение (U_a), величина которого могла изменяться от нуля до ± 2000 В. Между анодом и кристаллом располагалась металлическая сетка, к которой могло быть приложено постоянное напряжение в пределах от нуля до ± 1000 В. По переменному току сетка соединялась с общим „нулевым“ проводником при помощи конден-