

УДК 537.534

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИОНОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КВАРЦА

Ю.К. Москвитина, О.В. Калантарьян, С.И. Кононенко, Л.А. Марченко,
В.Е. Филиппенко

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, 61077 Харьков, пл. Свободы, 4
Поступила в редакцию 3 сентября 2004 г.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования угловых характеристик люминесценции кварца при облучении его ионами водорода и гелия. Изучалось влияние различных параметров пучка бомбардирующих частиц на индикатрису излучения кварца. Показано, что индикатриса излучения необлучённого кварца зависит от угла падения пучка на образец, сорта и энергии бомбардирующих ионов. Форма индикатрисы кварца в начале облучения зависела от величины поглощённой образцом дозы. При больших поглощенных дозах форма индикатрисы оставалась неизменной. Указано на возможность использования полученных результатов для дистанционного контроля за элементами конструкций термоядерных установок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кварц, ионолюминесценция, ионный пучок, водород, гелий, индикатриса, спектральный метод.

В устройствах, работающих в условиях облучения мощными потоками ионизирующих излучений, широко используются конструкционные элементы, изготовленные из кварца. Так, в термоядерных установках для ввода мощных потоков электромагнитного излучения и вывода оптического излучения в диагностических целях, применяют кварцевые окна [1, 2]. Кроме этого, кварц широко используется в современных микроэлектронных технологиях, в космических аппаратах и т.п. Поэтому исследование влияния внешних факторов, таких как интенсивные потоки заряженных частиц и жёсткое гамма-излучение, приводящих к изменению физико-химического состояния кварца, является важной прикладной задачей.

Существенное влияние на оптические, химические, механические и др. свойства кварца оказывает наличие различного типа дефектов в образце [3]. Процесс дефектообразования происходит особенно интенсивно при воздействии мощных потоков частиц. Одним из методов исследования таких процессов является ионолюминесцентный. При помощи этого метода были изучены изменения в спектрах излучения кварца, которые связывались с накоплением определенного типа дефектов в образце, в процессе его облучения быстрыми легкими ионами. На базе полученных данных разработан спектральный метод измерения дозы поглощенной образцом [4].

Ионолюминесцентное излучение образца имеет определенную диаграмму направленности, форма которой связана с параметрами взаимодействия частиц с образцом. Изучение угловых характеристик вторичного излучения может дать дополнительную информацию о процессах в зоне облучения образца. Данная работа посвящена дальнейшему развитию спектрального метода измерения накопленной образцом дозы. В ней исследовались угловые характеристики люминесцентного излучения кварца в процессе его облучения ионами водорода и гелия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

В экспериментах по изучению угловых характеристик ионолюминесценции была использована установка, подробно описанная в [5]. Исследовались спектры люминесценции кварцевого стекла в диапазоне длин волн λ от 400 нм до 700 нм. Образец облучался пучками ионов H^+ , H_2^+ , He^+ от электростатического ускорителя ЭСУ-0,8 ННЦ ХФТИ. Энергия ионов равнялась 210 кэВ и 420 кэВ, а средняя плотность тока пучка на мишени – 30 мкА/см². Угол падения ионов на мишень α отсчитывался от перпендикуляра к поверхности образца, и менялся в пределах от 30° до 60°. Оптическое излучение регистрировалось при различных углах наблюдения (регистрации) β , которые изменялись от –30° до 67,5°. Все спектры корректировались с учетом аппаратной функции оптического тракта установки и нормировались на ток пучка. Относительная погрешность измерений не превышала 2%. Давление остаточных газов в рабочей камере составляло 10⁻⁴ Па.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Типичный спектр ионолюминесценции необлучённого кварца состоит из двух широких полос с максимумами, лежащими в окрестности длин волн 456 нм (2,7 эВ) и 645 нм (1,9 эВ) (рис. 1). Эти полосы наблюдались ранее в люминесцентных спектрах кварца, как при ионной бомбардировке [5-7], так и при других видах возбуждения [3]. Наличие вышеописанных полос связывают с существованием двух различных видов дефектов в образце. Коротковолновая полоса ($\lambda_{max}=456$ нм) наиболее часто описывается внутренними дефектами кварца типа E'-центров, которые образуются в результате разрыва кремний-кислородной связи при автолокализации экситона [3]. Другим объяснением этому могут быть и иные кислорододефицитные дефекты.

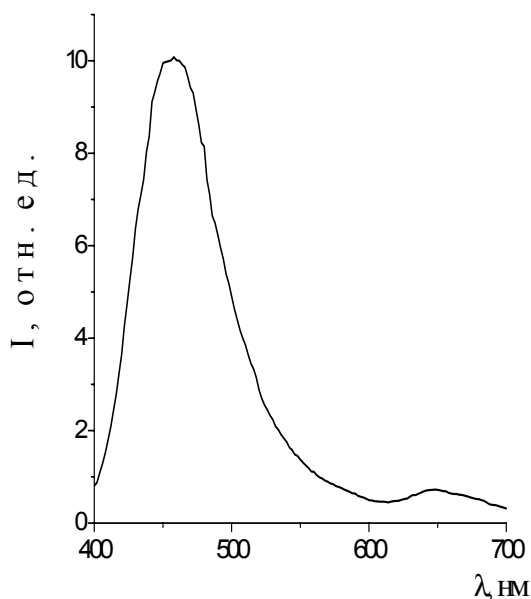


Рис.1. Спектр ионолюминесценции необлученного кварца при бомбардировке быстрыми легкими ионами.

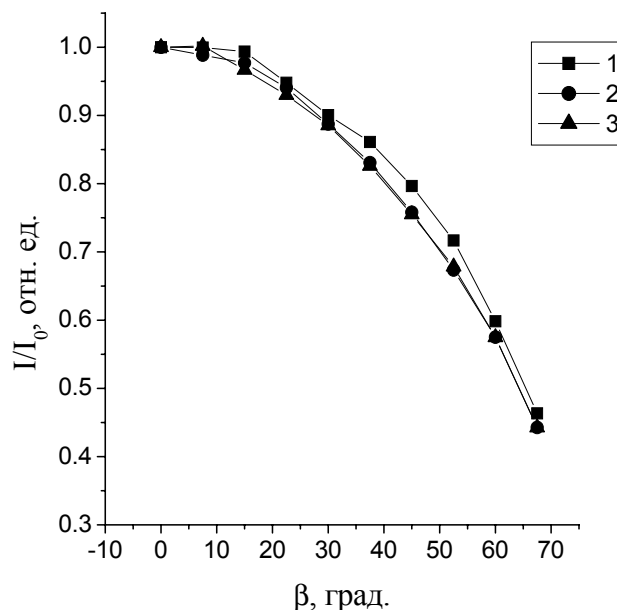


Рис.2. Зависимость нормированных интенсивностей излучения кварца от β при $\alpha=30^\circ$ для протонов с энергией 420 кэВ при различных набранных образцом дозах:
1) $D=0 \mu\text{K}$; 2) $D=1314,84 \mu\text{K}$; 3) $D=2086,51 \mu\text{K}$.

Длинноволновая полоса ($\lambda_{\text{max}}=645 \text{ nm}$) связана с наличием немосткового кислорода в образце [3]. Поскольку погрешность при измерении светового выхода в максимуме наиболее интенсивной полосы является минимальной, то для исследования угловых характеристик ионолюминесценции кварца использовалось спектральное излучение с длиной волны равной 456 нм. Для сравнения результатов с различной абсолютной интенсивностью $I(\beta)$, все спектральные значения индикатрисы $I_N(\beta)$ были нормированы на максимальное $I(\beta=0^\circ)$, т.е.

$$I_N(\beta)=I(\beta)/I(\beta=0^\circ).$$

На рис. 2 представлены нормированные индикатрисы ионолюминесцентного излучения кварца, облученного ионами водорода H^+ с энергией 420 кэВ при различных набранных дозах и фиксированном угле падения ионного пучка на образец. При проведении измерений каждая точка измерялась большое количество раз (до 100), затем проводилось усреднение измеренных интенсивностей. Статистическая погрешность составляла менее 3%.

Как видно из рисунка, с увеличением поглощенной дозы угловые зависимости изменяются. После достижения дозы равной 1314 μK индикатрисы практически накладываются друг на друга.

Такое поведение индикатрисы излучения кварца может быть использовано для контроля поглощенной образцом дозы. Для малых величин поглощенной дозы изменение угловых характеристик излучения может быть использовано как дополнительный метод к ранее предложенному спектральному. Для больших доз может быть использован только спектральный метод, но его чувствительность можно повысить за счёт увеличения телесного угла, из которого принимается люминесцентное излучение.

Угловые характеристики ионолюминесценции необлученного кварца модифицировались с изменением угла падения ионного пучка на мишень (см. рис. 3). Эти изменения наиболее заметны для углов регистрации в интервале между $37,5^\circ$ и $67,5^\circ$.

Исследования индикатрис излучения при воздействии на необлученный кварц ионов различных сортов и энергий показали, что при положительных углах наблюдения кривые для ионов водорода и гелия близки (см. рис. 4). Вместе с тем, видна следующая закономерность: кривая, соответствующая ионам He^+ проходит всегда ниже, чем другие, а для ионов H^+ с энергией 420 кэВ соответствующая кривая находится всегда выше остальных. Эти различия незначительны, однако эта тенденция обнаруживается для всех углов падения пучка на мишень.

В отрицательной области углов β индикатрисы ведут себя по-другому. Они обнаруживают зависимость от массы налетающих частиц. На рисунке 4 видно, что кривые для протонов с разной энергией весьма близки.

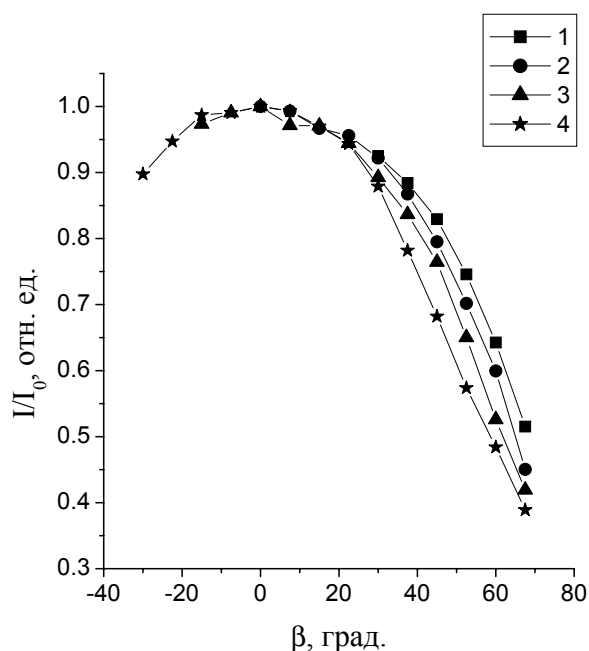


Рис.3. Зависимость нормированных интенсивностей излучения необлучённого кварца от β при бомбардировке протонами с энергией 210 кэВ при различных α : 1) $\alpha=0^\circ$; 2) $\alpha=30^\circ$; 3) $\alpha=45^\circ$; 4) $\alpha=60^\circ$.

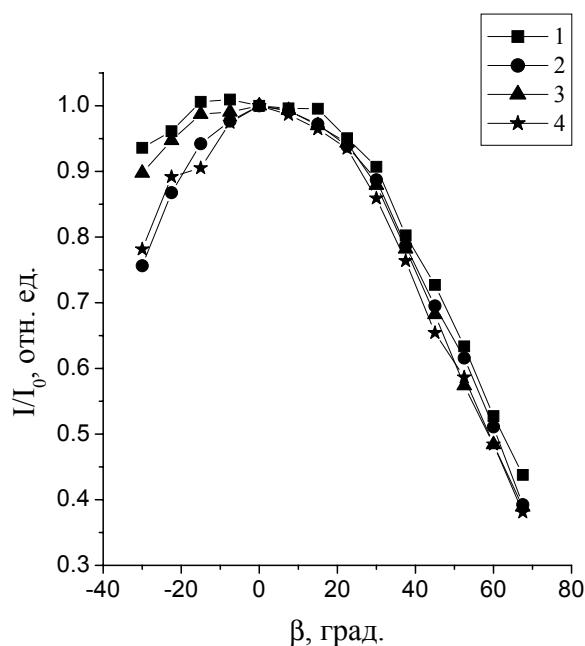


Рис.4. Зависимость нормированных интенсивностей излучения необлучённого кварца от β для $\alpha=60^\circ$ при различных сортах и энергиях частиц: 1) $H^+(420)$; 2) $H_2^+(420)$; 3) $H^+(210)$; 4) $He^+(420)$.

Достаточно близки и кривые, которые соответствуют ионам гелия и молекулярного водорода. Следует заметить, что индикатрисы излучения индуцированного протонами лежат выше, чем для ионов H_2^+ и He^+ .

Наличие подобных зависимостей индикатрис от сорта ионов возможно связано с их способностью образовывать дефекты в образце. Этот эффект нуждается в дополнительных исследованиях.

ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что форма индикатрисы излучения необлучённого кварца зависит как от углов падения, так и от сорта и энергии ионов. Наиболее заметны различия в индикатрисах, снятых для различных сортов ионов в области отрицательных углов наблюдения. Найденны различия в индикатрисах для малых доз облучения. Этот факт можно использовать для определения поглощённой дозы.

Для больших доз форма индикатрисы остаётся неизменной. Это можно использовать для увеличения чувствительности спектрального метода определения дозы.

Полученные результаты могут быть использованы для дистанционного контроля за процессами, происходящими в термоядерных установках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yamamoto S. Design Description Document (ITER). Radiation Effects. 1997. –154 p.
2. Morono A., Hodson E.R. Radioluminescence problems for diagnostic windows // J. of Nucl. Mat. – 1995. – V. 116-121. – P. 216-221.
3. Силинь А.Р., Трухин А.Н. Точечные дефекты и элементарные возбуждения в кристаллическом и стеклообразном SiO_2 . – Рига: Зинате, 1985. – 244 с.
4. Kalantaryan O.V., Kononenko S.I., Muratov V.I. Distance-monitoring of absorption dose on materials under ion irradiation // J. of Plasma and Fusion Research SERIES. – 2000. – V.3. – P. 274-276.
5. Калантарьян О.В., Кононенко С.И., Манзюк Н.А., Муратов В.И., Сторожко В.Е. Исследование оптического излучения кварца при бомбардировке лёгкими ионами // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1992. – №5. – С. 45-49.
6. Бёрёзов Р.Д., Калантарьян О.В., Кононенко С.И., Филипенко В.Е. Исследования свойств кварцевого стекла методом ионolumинесценции // Вестник Харьковского Национального университета. – Серия физическая «Ядра, частицы, поля». – 2003. – №585. – Выпуск 1 (21). – С. 120-122.

7. Kononenko S.I., Kalantaryan O.V., Muratov V.I. Quartz investigation under fast proton irradiation by luminescence method // Functional Materials. – 2003. – № 4. – P. 656-660.

THE INVESTIGATION OF ANGULAR CHARACTERISTICS OF QUARTZ IONLUMINESCENCE RADIATION

Yu.K. Moskvitina, O.V. Kalantaryan, S.I. Kononenko, L.A. Marchenko, V.E. Filippenko

Kharkov National University named by V. N. Karazin, 61077 Kharkov, Svobody sq., 4

Experimental studies of the angular dependencies of quartz luminescence under hydrogen and helium ions bombardment are presented. The influence of different beam parameters on quartz indicatrix was studied. It is shown that nonirradiated quartz radiation indicatrix depends on incidence angle, species and energy of the bombardment ions. The quartz indicatrix form in the beginning of irradiation depends on absorbed dose amount and then it becomes unchanging. The possibility of using the obtained results for distant monitoring in construction elements of thermonuclear facilities was shown.

KEY WORDS: quartz, ionoluminescence, ion beam, hydrogen, helium, indicatrix, spectral method.