

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

АВТОРЕФЕРАТ

на выпускную квалификационную работу бакалавра

по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

студента курса факультета нано- и биомедицинских технологий

Баловнева Дениса Николаевича

**Тема работы «ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА ВЫХОД ВТОРИЧНЫХ ИОНОВ
ИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ»**

Научный руководитель д. ф.-м. н., профессор Роках А.Г.

Консультант к.ф.-м.н., с.н.с. Сердобинцев А.А.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор Михайлов А.И.

Саратов

2016

Введение

В последнее время методам ионного анализа материалов уделяется значительное внимание как наиболее информативным и чувствительным. Сбор и анализ по массам вторичных ионов при бомбардировке твердого тела пучком ускоренных ионов являются основой метода вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС).

Одним из направлений работы кафедры физики полупроводников являлось изучение вторично ионного фотоэффекта, проводившегося в частности на структуре SiO-AlGaAs-GaAs.

Вторично-ионный фотоэффект (ВИФЭ) представляет собой изменение выхода вторичных ионов под влиянием освещения мишени. Это изменение может быть со знаком минус (нормальный ВИФЭ) и со знаком плюс (аномальный ВИФЭ).

Настоящая бакалаврская работа включает обзор литературы по процессам масс-спектрометрии и в частности по вторично-ионному фотоэффекту. Оригинальная часть работы посвящена экспериментальному изучению влияния заземления различных электродов на вторично-ионный фотоэффект в полупроводниково-диэлектрической структуре SiO-AlGaAs-GaAs, причем речь идет о продолжении серии исследований, начатых другими.

1. Взаимодействие ионов с полупроводником и вторично-ионный фотоэффект. Литературный обзор

1.1. Вторично-ионный фотоэффект

Вторично-ионный фотоэффект заключается, как уже отмечалось, в изменении выхода вторичных ионов из распыляемой мишени при освещении образца светом.

Освещение уменьшает электронную работу выхода для полупроводника *n*-типа. Это увеличивает выход электронов, нейтрализующих вторичные ионы, таким образом уменьшая их количество.

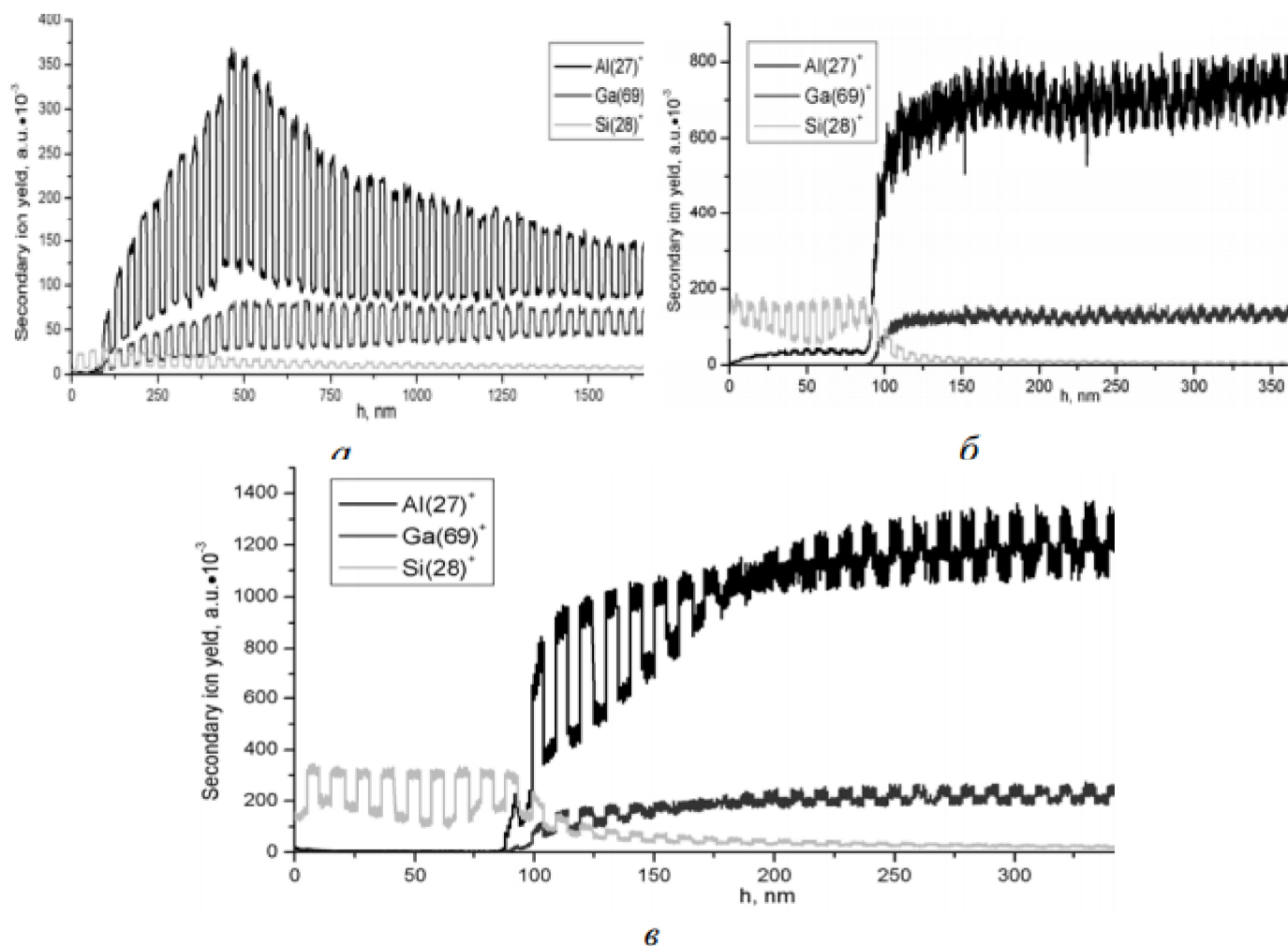
Влияние освещения на выход вторичных ионов из фотопроводящих мишеней (вторично-ионный фотоэффект – ВИФЭ) обнаружено и исследовалось на пленках CdS-PbS при бомбардировке ионами кислорода. В этих работах было показано, что при освещении белым светом вторичные ионы кадмия показывают уменьшение выхода при освещении (нормальный вторично-ионный фотоэффект), а ионы свинца – увеличение (аномальный вторично-ионный фотоэффект). Исследования выполнялись только на положительных как первичных, так и вторичных ионах.

Количественная проверка этой модели состоялась при объяснении зависимости выхода вторичных ионов Pb^{+} от интенсивности света. Экспериментальный ход этой зависимости удалось объяснить теоретическим расчетом в предположении увеличения температуры в местах скопления свинца, т.е. в узкозонной фазе при освещении. Физически ситуацию можно себе представить поступлением и электронов, и дырок в узкозонную фазу и рекомбинацией электронно-дырочных пар, которая вызывает ослабление химических связей атомов в решетке в местах узкозонных включений. Наличие длинноволновой люминесценции только укрепило это предположение. Расшатывание кристаллической решетки, сопровождающееся повышением температуры в узкозонной фазе, облегчает

выход свинца из этих участков (рекомбинационный механизм). Эксперимент показывает, что для свинца рекомбинационный механизм преобладает над нейтрализационным.

1.2. Обзор некоторых работ по ВИФЭ

В работе В.А. Александрова исследуется наблюдению ВИФЭ на структуре SiO–AlGaAs–GaAs. Толщина SiO – 90 нм, AlGaAs – 500 нм, GaAs – подложка. Без слоя оксида кремния-это заготовка фотокатода прибора ночного видения. В работе говорится о распылении, и что со стороны SiO наблюдается существенный ВИФЭ, кратность которого достигает 300%. Точнее в работе рассматривается зависимость этого эффекта от размеров зоны травления. В процессе травления образец освещался светом галогеновой лампы в ритме 2 минуты минуты - освещение 2 минуты - перерыв. Автор приводит результаты выхода вторичных ионов зависящих от глубины травления. На рисунке, а виден мощный аномальный ВИФЭ по всем элементам на всей глубине травления (до 1750 нм). На рисунке б по всем элементам кроме кремния наблюдается слабый нормальный ВИФЭ. Наиболее интересен рисунок, в, показывающий переход ВИФЭ на глубине 180 нм. Из графиков следует, что при увеличении площади зоны травления аномальный эффект ослабляется и переходит в нормальный. Также необходимо отметить стабильность поведения ионов кремния, ВИФЭ на них всегда аномальный.



В.А Александров объясняет это факт двумя гипотезами

- 1) ВИФЭ определяется зарядкой SiO, уменьшающейся под действием света. Тогда, с ростом площади травления, заряженный SiO всё более удаляется от центра кратера и всё менее влияет на процесс.
- 2) С ростом площади уменьшается плотность ионного тока, протекающего через образец. Уменьшается потенциал, под которым находится SiO, меняются условия стока избыточного заряда.

2 Исследование ВИФЭ на полупроводниково-диэлектрической структуре. Экспериментальная часть

2.1 Установка для проведения эксперимента и исследуемая структура

Исследование проводилось на установка Perkin-Elmer PHI 4300 – установка Оже-спектроскопии и вторичной масс спектрометрии совмещенная с электронным микроскопом, которая позволяет детектировать присутствие 0,0001 мольной доли почти любого элемента периодической системы. На этой же установке проводились и предыдущие исследования.

Для проведения измерений на исследуемую структуру наносились медные электроды вакуумным термическим напылением полупрозрачной пленки меди. При этом на SiO электроды наносились в форме двух встречно-штыревых гребенок, а на подложку из GaAs тем же способом наносился сплошной медный электрод. Поскольку нижний или оба верхних электрода заземлялись, то путь стекания тока первичных ионов можно было изменять. Заземления проводилось с помощью органического скотча(рис. а) и прижимной металлической пластиной(рис б).

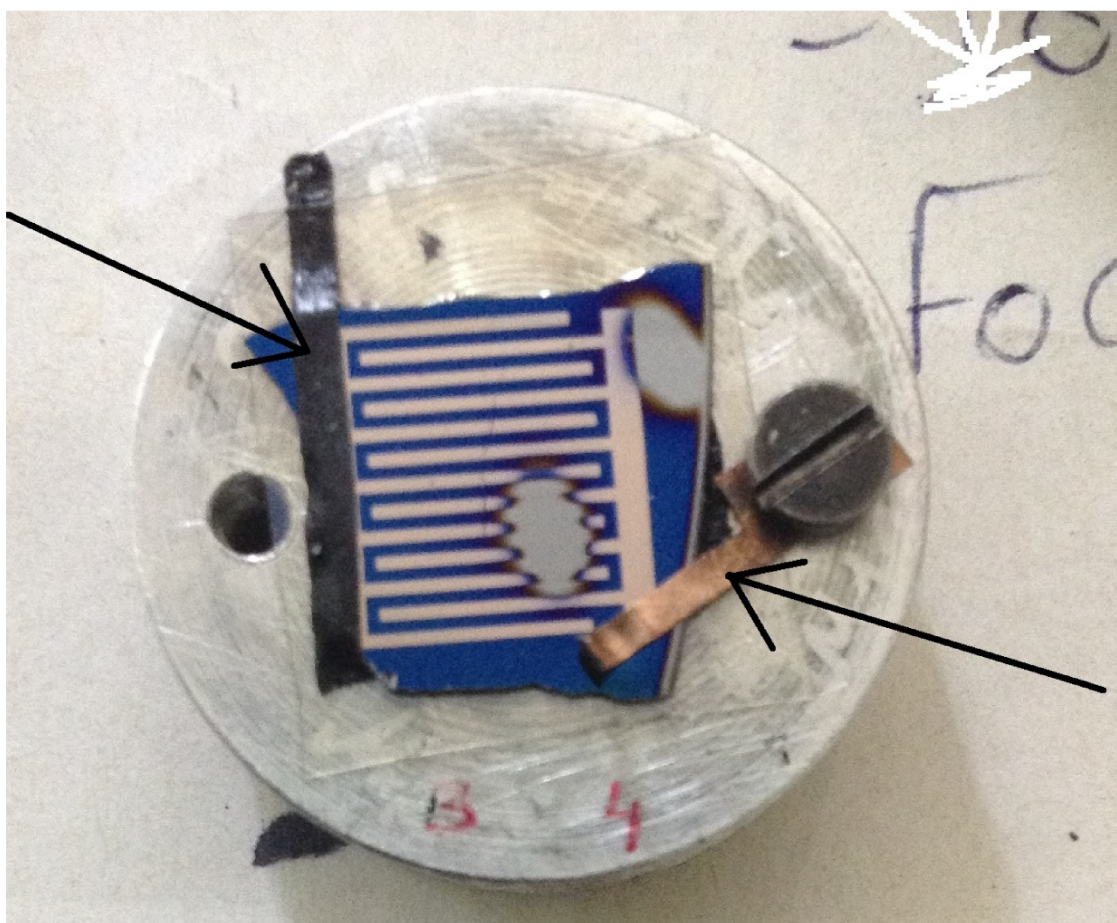


Рис.2.1. Заземление «гребенки» экспериментальног образца медной шиной.

Бомбардировка осуществлялась ионами Ar^+ на масс-спектрометре. Ток пучка 500 нА, напряжение 4 кВ. Освещение осуществлялось от галогенной лампы мощностью 90 Вт.

2.2 Описание и анализ профиля выхода вторичных ионов.

При проведения первого эксперимента был заземлен нижний электрод.

Включение и выключение света производилось с интервалом в 2 мин.

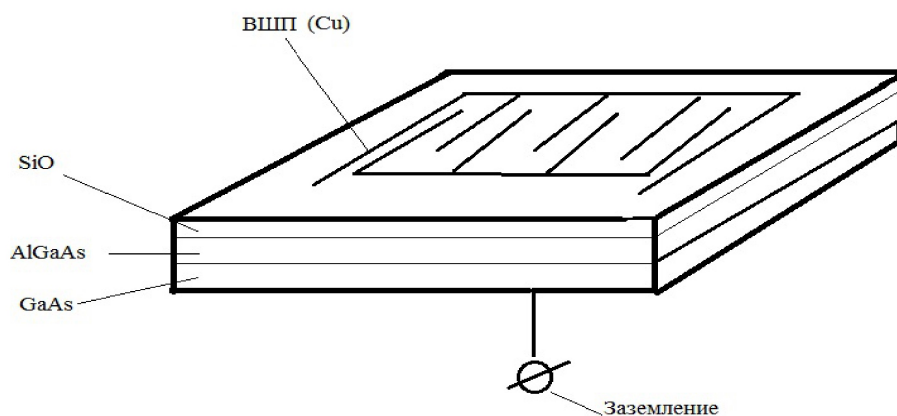


Рис. 2.2. Схема заземления нижнего электрода

Протравливание верхнего медного электрода имело место на глубине примерно 350 нм, а плёнки SiO – 90 нм. При включении света выход вторичных ионов Si^+ , Al^+ и Ga^+ увеличивался и превосходил темновой эффект практически в два раза. В начальный момент времени происходит травление слоя SiO который протравливается за 35 минут процесса. После протравливания слоя SiO амплитуда выхода вторичных ионов кремния начала уменьшаться по мере увеличения глубины травления. Увеличение выхода вторичных ионов алюминия объясняется протравливанием слоя

AlGaAs. Максимальный пик зафиксирован при протравливания слоя на 270 нм. Отрицательные ионы As не обнаружались. Кислород находится в широкозонной фазе окисла SiO^+ , в котором практически не происходит рекомбинации электронно-дырочных пар, возникающих при освещении мишени, поэтому выход вторичных отрицательных ионов кислорода очень мал по сравнению с выходом кремния. При данном типе заземления по всем регистрируемым ионам наблюдался аномальный ВИФЭ.

Второй эксперимент был проведен с заземленным электродом в виде медной гребенки. Заземление было осуществлено органическим скотчем. Ток пучка 500 нА, напряжение 4 кВ. Освещение осуществлялось от галогенной лампы мощностью 90 Вт. Изменилось только заземление электрода, и геометрия протекания ионного тока соответственно. Наибольший выход вторичных ионов наблюдается как и в предыдущем случае Al^+ , Ga и Si. Рассматривая профиль ВИФЭ (рис.) первым был протравлен медный электрод примерно на глубине 90 нм. Пленка SiO_2 на глубине 108 нм. Уменьшение выхода вторичных ионов не наблюдается при заземлении различных электродов органическим скотчем. Это обусловлено, по-видимому, высоким сопротивлением данного материала.

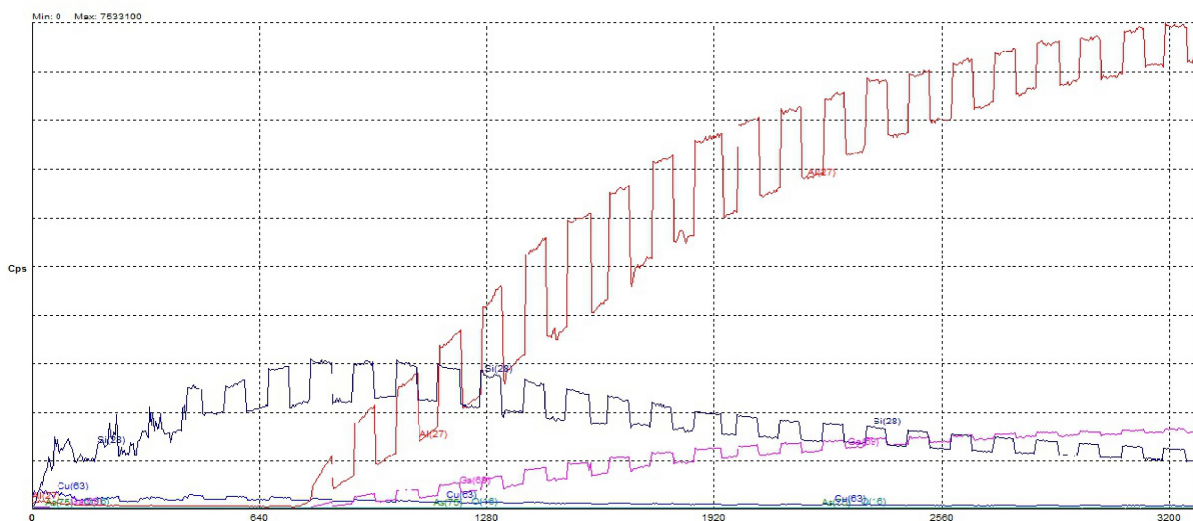


Рис. 2.3. Профиль при заземлении нижнего электрода

В следующем эксперименте заземление происходило прижимной металлической пластиной на другой гребенке . Скорость травления верхнего слоя заметно уменьшается. Пленка SiO пробивается только на 58 минуте эксперимента на глубине 120 нм. Далее до глубины 230 нм мы наблюдаем аномальный ВИФЭ. Так же как и в предыдущих случаях наблюдается наибольший выход вторичных ионов Al^{+} , Ga и Si. Однако после этого ВИФЭ изменяет свой характер(рис). Выход вторичных ионов Al^{+} увеличивается в десятки раз. Такой же эффект наблюдается с ионами Ga^{+} , до изменения эффекта они почти не реагировали на свет. Особое внимание стоит уделить ионам Si^{+} , так как первоначально амплитуда шла к уменьшению со снижением количества вторичных ионов. После изменения эффекта выход вторичных ионов так же уменьшался но амплитуда возросла. Сам ВИФЭ изменяет знак и становится нормальным. По всем элементам наблюдается данное изменение и все элементы изменяются синфазно. Детальное объяснение наблюдавшегося эффекта по-видимому связано с учетом различной зарядки поверхности мишени при разных схемах заземления электродов.(есть еще вариант объяснения связанный с увеличением зоны травления)

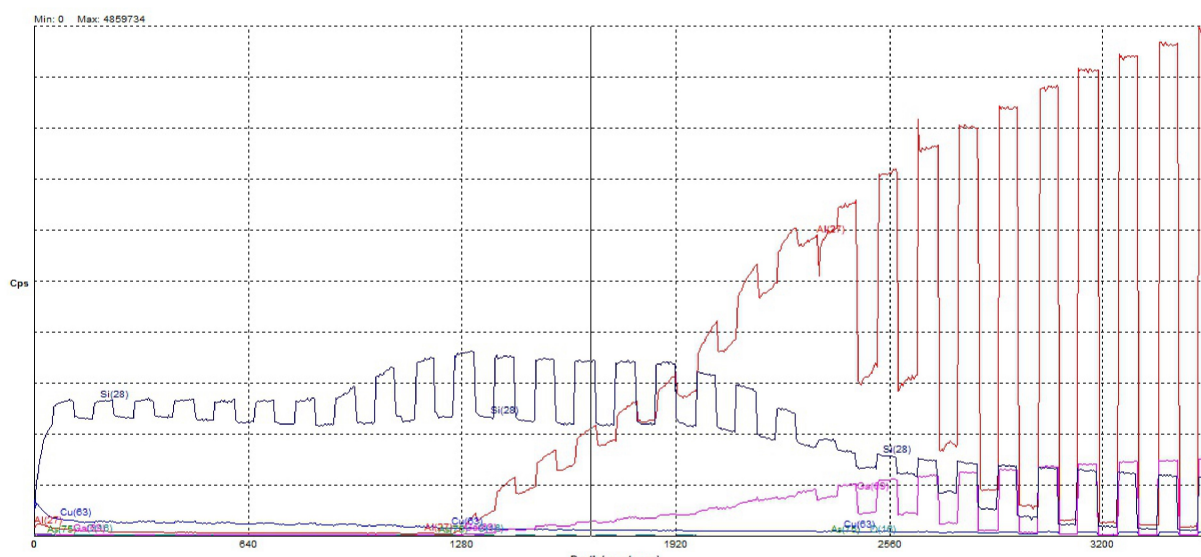


Рис. 2.4. Профиль при заземлении «гребенки» медной шиной

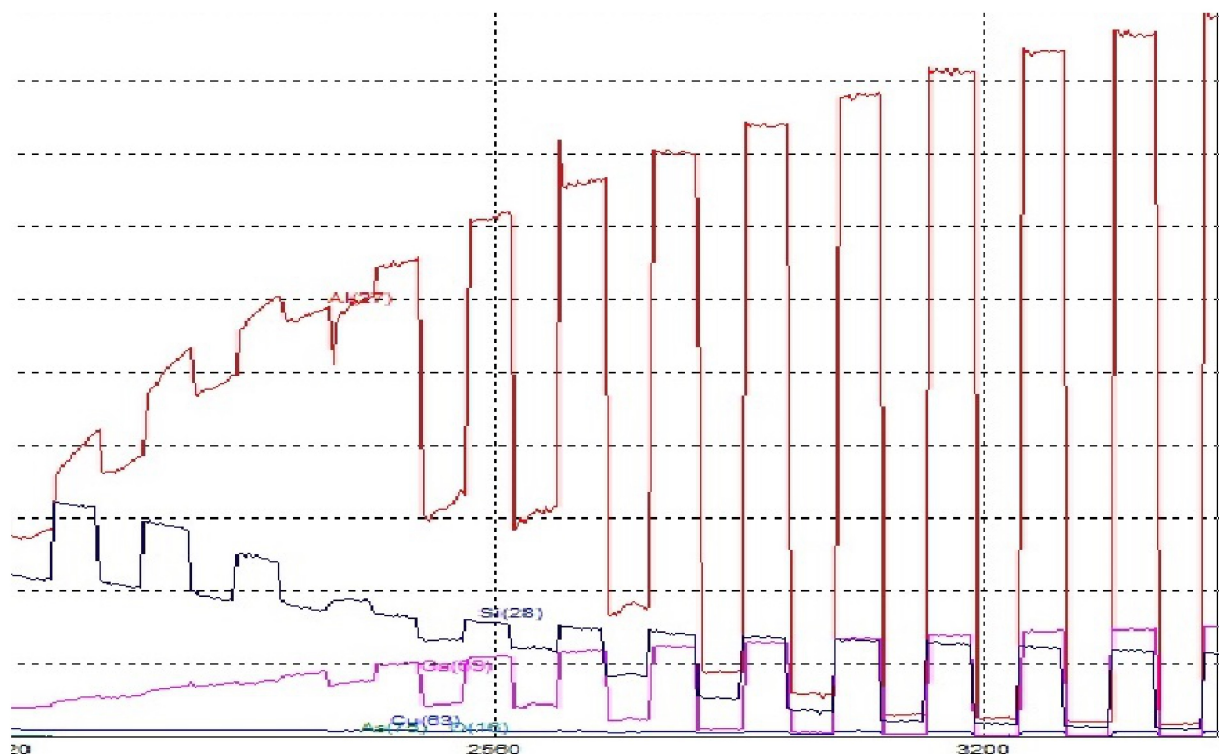


Рис. 2.5. Увеличенная часть рис. 2.4.

Для проверки был проведен еще один эксперимент с тем же заземлением на той же гребенке. Изменение было внесено только в увеличения тока пучка до 700 нА. Цель была получения эффекта изменения ВИФЭ и наблюдения перехода с аномального в нормальный. В ходе данного эксперимента ожидаемый результат не был получен. Наблюдался выход вторичных ионов Si с уменьшением амплитуды после протравливания верхнего слоя. Увеличивается выход вторичных ионов Al⁺ и Ga⁺.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлен еще один вариант смены знака вторично-ионного фотоэффекта, при котором смена знака происходит по всем трем распыляемым ионам Al^+ , Ga^+ , Si^+ . Особенностью изучаемой смены знака эффекта являлась то обстоятельство, что оно происходило при заземлении металлической пластиной, а не проводящим скотчем. Причина наблюдавшегося эффекта пока не достаточно ясна в связи с ограниченной возможностью работой на установке, в силу объективных причин. Работа нуждается в продолжении. Для продолжения работы требуются дополнительные исследования на масс-спектрометре в сочетании с фотоэлектрическими исследованиями структуры.