

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ БОЛЬШИХ ДОЗ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИНДУЦИРОВАННУЮ ПРИМЕСНУЮ ФОТОПРОВОДИМОСТЬ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ Si<B>

В.М. Зыков, А.Н. Киселев  
г. Томск, Россия

*Представлены результаты изучения воздействия больших доз электронного излучения на характеристики индуцированной примесной фотопроводимости (ИПФ) в образцах Si<B>. Показано, что существенное изменение кинетики ИПФ в результате облучения электронами может быть интерпретировано в рамках модели генерации дефектов донорного типа на основе междоузельного бора.*

Исследования индуцированной примесной фотопроводимости (ИПФ) в условиях воздействия электронного излучения с энергией более 1 МэВ осложнено интенсивной генерацией радиационных дефектов компенсирующего типа изменяющих кинетику ИПФ. Ниже представлены результаты исследования ИПФ в р-типа кремнии, полученном методом зонной плавки и легированном бором до концентрации  $(1-5) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , при облучении электронами с энергией 6 МэВ [1-4].

Исследования ИПФ при воздействии электронами с энергией 6 МэВ выполнены при температуре 10 К и фоне теплового излучения порядка  $10^{11} \text{ фотон} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  при средней мощности дозы электронного излучения в кремнии 20 рад/с. Периодически электронное излучение прерывалось для измерения тока примесной фотопроводимости, которая измерялась на длине волны  $\approx 3 \text{ мкм}$  при использовании светоизлучающего диода в качестве источника примесного возбуждения. Для устранения влияния на результаты измерений перезарядки примесей и дефектов перед каждым измерением фототока образец примесного кремния кратковременно нагревался до температуры 25 К, а затем охлаждался до рабочей температуры. Специальная проверка показала, что последующий после такой процедуры изотермический отжиг при рабочей температуре продолжительностью до нескольких часов не изменяет величину примесной фотопроводимости, измеренную по такой методике.

Облучение линейки фоторезисторов из шести образцов Si<B> большими дозами электронов проводилось при температуре 10 К и средней мощности дозы электронного излучения 10÷14 Гр/мин. Измерения примесной фотопроводимости ( $\lambda \approx 3 \text{ мкм}$ ) проводились в режиме засветки, при котором ток примесной фотопроводимости существенно превышал темновой ток. Для устранения влияния перезарядки примесей и дефектов на результаты измерений перед каждым измерением фототока при рабочей температуре исследуемый образец кремния кратковременно выдерживался при температуре 25 К. Значения фототока получены как разность полного тока и темнового тока, протекающих через исследуемый образец Si<B>. Установлено что, облучение кремния электронами интегральным потоком до  $4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$  сопровождается уменьшением фототока по линейному закону. Отжиг в течение 3-х месяцев при комнатной температуре практически не меняет результата облучения (рис. 1).

Суммарное облучение Si<B> при температуре 10 К интегральным потоком электронов  $1,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$  привело к результирующему уменьшению примесной фотопроводимости в 1,6 раза. Измерение температурной зависимости примесной фотопроводимости до и после облучения электронами показало, что уменьшение фоточувствительности наблюдается на всем наблюдаемом диапазоне температур от 8 до 15 К (рис. 2). Наблюдаемое уменьшение примесной фотопроводимости можно связать с увеличением концентрации центров захвата дырок из-за образования радиационных дефектов донорного типа

и увеличения тем самым степени компенсации кремния, что обуславливает уменьшение времени жизни дырок из-за роста концентрации ионизованных атомов бора.

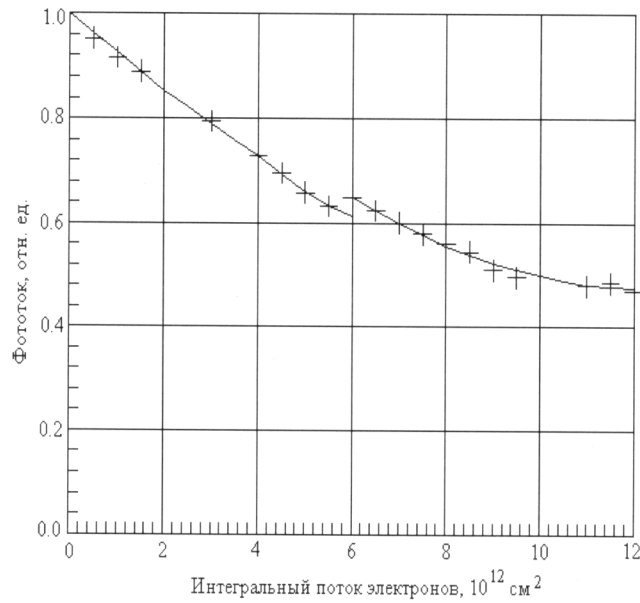


Рис. 1. Примесная фотопроводимость в  $\text{Si}\langle\text{B}\rangle$  ( $N_B = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) на длине волны 3 мкм в зависимости от интегрального потока электронов ( $E=6 \text{ МэВ}$ ) при температуре 10 К

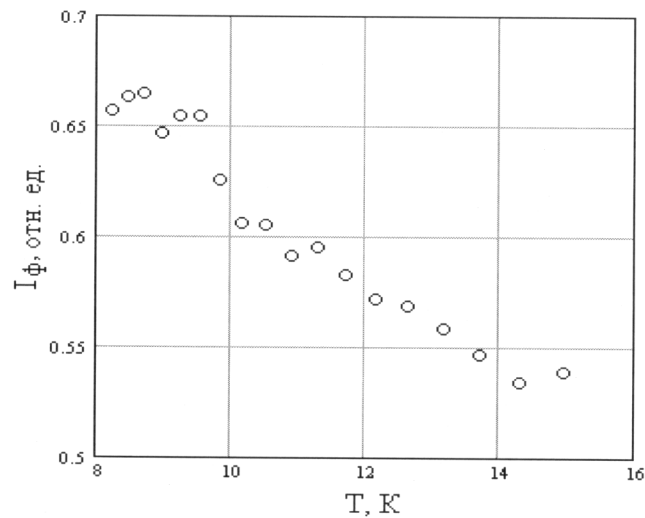


Рис. 2. Температурная зависимость относительного изменения тока примесной фотопроводимости в результате облучения электронами энергией 6 МэВ при  $T=10 \text{ К}$  и интегральном потоке электронов  $1,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$

Исследование ИПФ в облученных электронами образцах  $\text{SI}\langle\text{B}\rangle$  показало существенное изменение кинетики релаксации ИПФ после облучения электронами дозой 4,1 кГр (рис. 3) и рост быстрого компонента релаксации с возрастанием дозы облучения. Представление кинетики релаксации в линеаризующем масштабе  $L(t)$  в соответствии с разработанной моделью ИПФ [5] позволило оценить характерное время быстрого и медленного компонентов релаксации. В результате облучения характерное время релаксации быстрого компонента возросло от нескольких секунд до 4 минут, а медленного компонента уменьшилось с 147 до 51 минуты. На рис. 4 в линеаризующем масштабе представлено изменение медленной компоненты релаксации в результате облучения электронами.

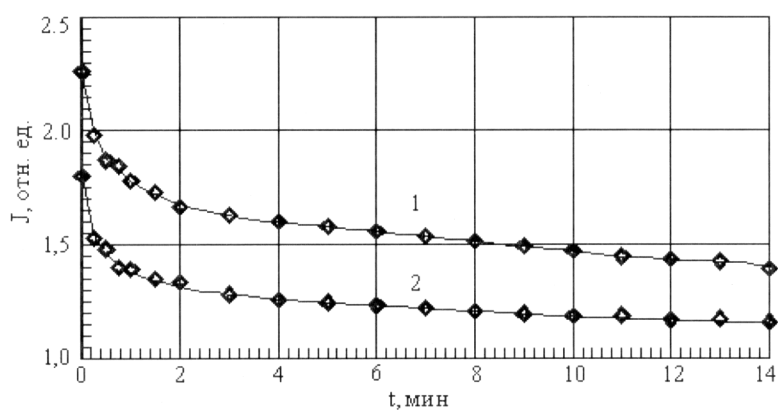


Рис. 3. Кинетика релаксации ИПФ в  $\text{Si}\langle\text{B}\rangle$  ( $N_B = 5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ ) до и после облучения при температуре  $T = 10 \text{ К}$  электронами с энергией 6 МэВ дозой 4,1 кГр. Кривая 1 – до облучения, кривая 2 – после облучения

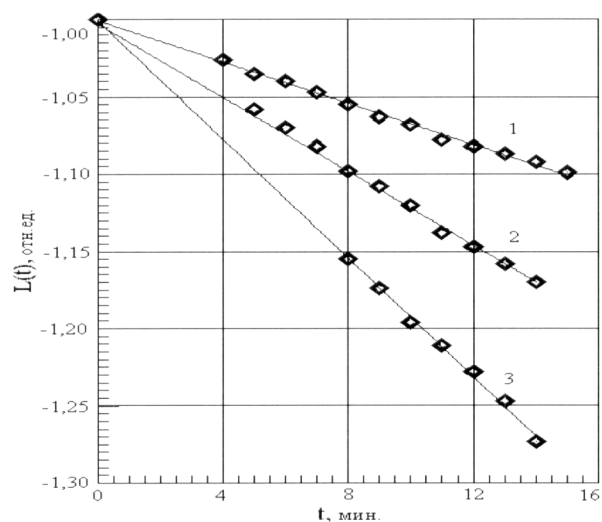


Рис. 4. Релаксация медленной компоненты ИПФ в  $\text{Si}\langle\text{B}\rangle$  ( $N_B = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) до и после облучения при температуре  $T = 10 \text{ К}$  электронами с энергией 6 МэВ. Кривая 1 – до облучения, 2 – после облучения дозой 2,0 кГр, 3 – после облучения дозой 4,1 кГр

Полученные результаты непротиворечиво объясняются механизмами генерации дефектов донорного типа на основе междоузельного бора.

### Список литературы

1. Зыков В.М., Лукин А.Л., Киселев А.Н. Научный отчет «Исследование действия электронного излучения с энергией до 6 МэВ на примесную фотопроводимость и электропроводимость кремния с малой степенью компенсации при температурах (6–20) К», № Гос. регистрации 01890057739, 1991 г.
2. Зыков В.М. Индуцированная примесная проводимость в облученном электронами кремнии // Сб. «Тезисы докладов 8-й международной конференции по радиационной физике и химии неорганических материалов», том 1, Томск, изд. ТПУ, 1993, с.149.
3. Зыков В.М., Лисицын В.М., Яковлев А.Н. Исследование долговременной релаксации примесной фотопроводимости в облученной  $p + -p - p +$  структуре на основе  $\text{Si}\langle\text{B}\rangle$  // Сб. «Радиационные гетерогенные процессы: Тезисы докладов шестой международной конференции», Часть 1. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 1995. – с. 81.
4. Зыков В.М., Лисицын В.М., Яковлев А.Н. Релаксация индуцированной примесной фотопроводимости в облученном электронами  $\text{Si}\langle\text{B}\rangle$  // Сб. «Тезисы докладов 9-й

- международной конференции по радиационной физике и химии неорганических материалов. РФХ-9, 23–25 апреля 1996 г.» – Томск: Изд-во ТПУ. – С. 169
5. V.M. Zikov and A.N. Kisel'ov «Excitation of Induced Extrinsic Photoconductivity in Si<B> With Small Degree of Compensation at Radiation Action» // In «1<sup>st</sup> International Congress on Radiation Physics, High Current Electronics, and Modification of Materials. Proceedings, Vol. 1, 11<sup>th</sup> International Conference on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter.» – Tomsk, 2000. – P. 406–411.

## АППАРАТУРА ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНДУЦИРОВАННОЙ ПРИСМЕСНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ SI<B>

*В.М. Зыков, А.Н. Киселев  
г. Томск, Россия*

*Представлено описание комплекса специальной аппаратуры, использованного для исследования радиационно-фотоэлектрических процессов в примесном кремнии при облучении быстрыми электронами в условиях глубокого охлаждения.*

Требования к аппаратуре для радиационных исследований индуцированной примесной фотопроводимости в Si<B> определяются условиями наблюдения этой фотопроводимости, близкими к реальным условиям работы примесных фотоприемников глубокого охлаждения, и характеристиками ионизирующих излучений в натуральных условиях работы этих фотоприемников (тип излучения и дифференциальная по углу и энергии плотность потока излучения).

С учетом поставленной задачи сформулированы основные требования к аппаратуре:

- остаточное давление газа, окружающего исследуемый образец не более  $7 \cdot 10^{-3}$  Па;
- рабочий диапазон температур исследуемых образцов  $8 \div 12$  К с поддержанием температуры с погрешностью 0,05 К и возможностью кратковременного отжига исследуемых образцов кремния при температуре до 35 К;
- возможность воздействия электронами с энергией до 6 МэВ при плотности потока до  $5 \cdot 10^8$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>, близкой к максимальным значениям в радиационных поясах Земли;
- низкий тепловой фон (плотность потока фотонов теплового фона менее  $10^{12}$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>);
- возможность регулируемого воздействия на исследуемый образец оптическим излучением ИК-диапазона, обеспечивающим с неоднородностью не более 20 % как собственную, так и примесную фотопроводимость в исследуемых образцах кремния;
- возможность дистанционного измерения фотоэлектрических характеристик в процессе воздействия высокоэнергетическими электронами с измерением токов в диапазоне от  $10^{-12}$  А до  $10^{-8}$  А;
- возможность длительного (до нескольких десятков часов) автономного функционирования криогенной аппаратуры в заданном режиме криостатирования при рассеиваемой мощности в образце до 100 мкВт.

Кроме того, экспериментальная аппаратура должна обеспечивать автоматическое измерение по заданной программе долговременных изменений (до нескольких десятков минут) индуцированной фотопроводимости в условиях ее импульсного возбуждения в образцах кремния с автоматическим документированием и первичной обработкой результатов измерений. Формируемая на магнитном носителе база данных должна обеспечивать последующее представление результатов измерений в функции