

03,04

## Влияние электронного облучения на диэлектрические характеристики монокристаллов $\text{AgGaSe}_2$

© А.У. Шелег, В.Г. Гуртовой

ГО „НПЦ НАН Беларуси по материаловедению“  
Минск, Беларусь

E-mail: hurtavy@physics.by

Поступила в Редакцию 24 апреля 2019 г.

В окончательной редакции 24 апреля 2019 г.

Принята к публикации 26 апреля 2019 г.

Исследовано влияние различных доз электронного облучения на диэлектрическую проницаемость и удельную электропроводность тройных нелинейно-оптических кристаллов  $\text{AgGaSe}_2$  на различных частотах измерительного поля в интервале температур 100–300 К. Обнаружено, что облучение монокристаллов приводит к уменьшению значений диэлектрической проницаемости и значительному возрастанию электропроводности. Показано, что с ростом температуры диэлектрическая проницаемость и электропроводность увеличиваются. Установлено, что для кристаллов  $\text{AgGaSe}_2$  характерно наличие нескольких типов проводимости. Обнаружена существенная частотная дисперсия диэлектрических свойств исследованных кристаллов.

**Ключевые слова:** нелинейно-оптические кристаллы, диэлектрическая проницаемость, удельная электропроводность, температурная зависимость, дисперсия, электронное облучение.

DOI: 10.21883/FIT.2019.10.48243.467

### 1. Введение

Тройные серебродержащие соединения  $\text{AgGaSe}_2$  являются оптически-нелинейными материалами. Для них характерны высокие показатели нелинейности, широкая область прозрачности в видимой и средней инфракрасной области спектра. От широко используемых в настоящее время материалов они отличаются высокой лучевой стойкостью. Соединение  $\text{AgGaSe}_2$  относится к прямозонным полупроводникам, имеет структуру халькопирита и кристаллизуется в тетрагональной симметрии с пространственной группой  $I42d$  и параметрами элементарной ячейки  $a = 5.757 \text{ \AA}$ ,  $c = 10.305 \text{ \AA}$  [1].

Соединения на основе  $\text{AgGaSe}_2$  и его твердых растворов используются для создания фотопреобразователей солнечной энергии, оптических параметрических осцилляторов, твердотельных источников спин-поляризованных электронов и других приборов полупроводниковой оптоэлектроники [2,3]. В последние годы достигнут значительный прогресс в применении монокристаллов прямозонных соединений  $\text{AgGaSe}_2$  для получения второй и третьей гармоник лазеров на  $\text{CO}_2$ . На основе высококачественных монокристаллов  $\text{AgGaSe}_2$  разрабатываются детекторы рентгеновского и гамма-излучения, работающие при комнатной температуре. Однако, несмотря на определенные успехи, достигнутые в изучении физических свойств соединения  $\text{AgGaSe}_2$ , многие физические характеристики данных кристаллов остаются пока неисследованными или требуют дальнейшего уточнения.

Целью данной работы было изучение влияния различных доз электронного облучения на температур-

ные зависимости диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и удельной проводимости ( $\sigma$ ) монокристаллов  $\text{AgGaSe}_2$  в широком интервале температур.

### 2. Методика эксперимента

Измерения диэлектрической проницаемости и электропроводности проводились методом плоского конденсатора на монокристаллических пластинках с помощью цифрового измерителя E7-20 на частотах измерительного поля  $10^3$ – $10^6$  Hz в температурном диапазоне 100–300 К. Образцы представляли собой монокристаллические пластинки  $\text{AgGaSe}_2$  размерами  $\sim 7 \times 5 \times 1$  mm. Поверхности пластинок совпадали с кристаллографической плоскостью (011). На образцы наносились омические серебряные контакты, затем образцы помещались между металлическими прижимными контактами. Держатель с образцом экранировался латунным стаканом, на который через изоляционную прослойку из слюды намотан нагреватель. Питание нагревателя осуществлялось постоянным током от стабилизированного источника. Температура контролировалась при помощи дифференциальной хромель-копелевой термопары и универсального цифрового вольтметра. Измерения велись методом непрерывного квазистатического нагревания со скоростью  $\sim 0.5$  K/min. Точность измерения температуры составляла 0.1–0.2 К. Погрешность измерений диэлектрических характеристик составляла  $\sim 0.5\%$ . Значения диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности рассчитывались по формуле, соответствующей плоскопараллельному конденсатору.

Проводились исследования как необлученных образцов, так и облученных электронами с энергией 4 MeV дозами  $10^{15}$  и  $10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

### 3. Результаты исследований

На рис. 1 представлены температурные зависимости диэлектрической проницаемости монокристалла  $\text{AgGaSe}_2$ , полученные на различных частотах измерительного поля. Как видно из рисунка, значения  $\epsilon$  с ростом температуры увеличиваются. Наблюдается значительная дисперсия диэлектрической проницаемости. С ростом частоты значения  $\epsilon$  уменьшаются, что обусловлено, как известно, релаксационными процессами, происходящими в высокочастотной области измерений.

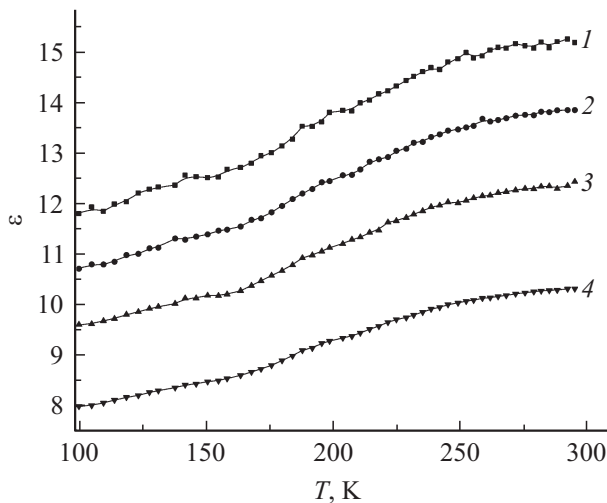


Рис. 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости монокристалла  $\text{AgGaSe}_2$  на частотах: 1 —  $10^3 \text{ Hz}$ ; 2 —  $10^4 \text{ Hz}$ ; 3 —  $10^5 \text{ Hz}$ ; 4 —  $10^6 \text{ Hz}$ .

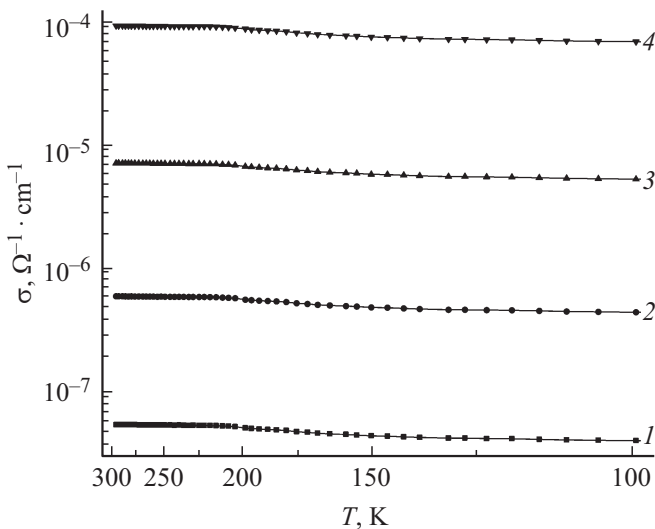


Рис. 2. Температурные зависимости удельной электропроводности монокристалла  $\text{AgGaSe}_2$  на частотах: 1 —  $10^3 \text{ Hz}$ ; 2 —  $10^4 \text{ Hz}$ ; 3 —  $10^5 \text{ Hz}$ ; 4 —  $10^6 \text{ Hz}$ .

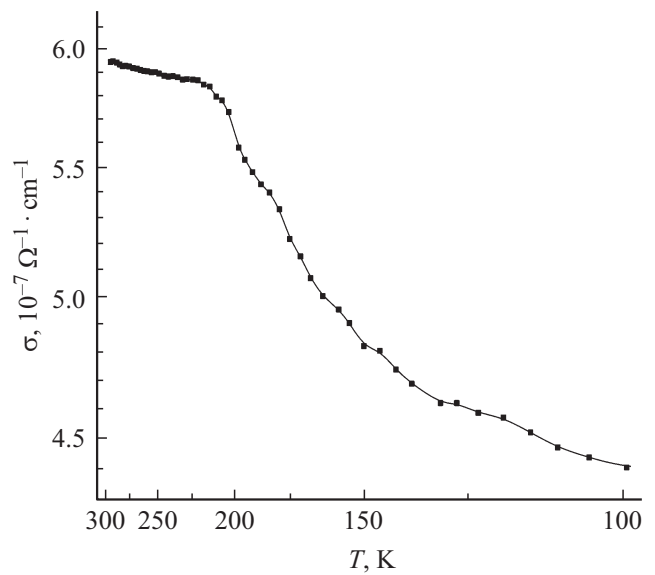


Рис. 3. Температурная зависимость удельной электропроводности  $\text{AgGaSe}_2$  на частоте  $10^5 \text{ Hz}$ .

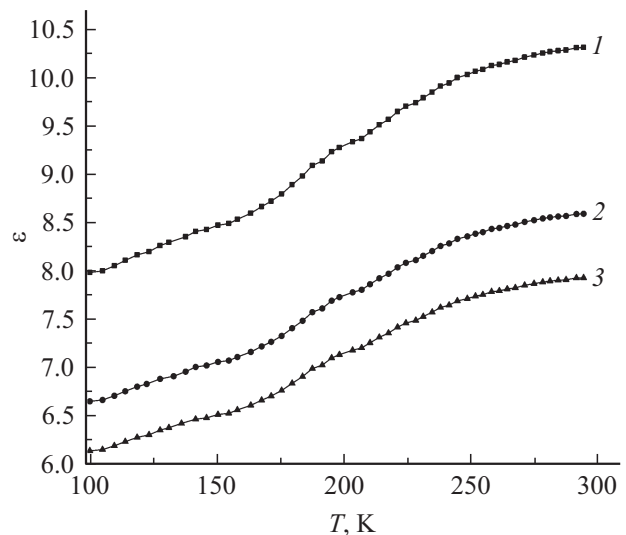
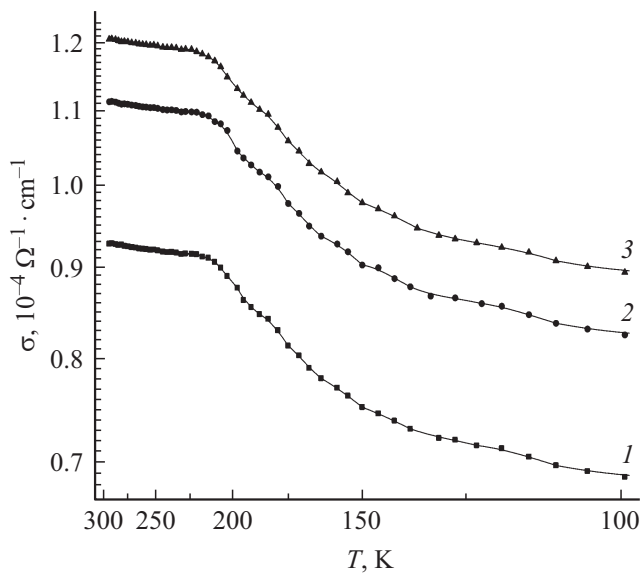
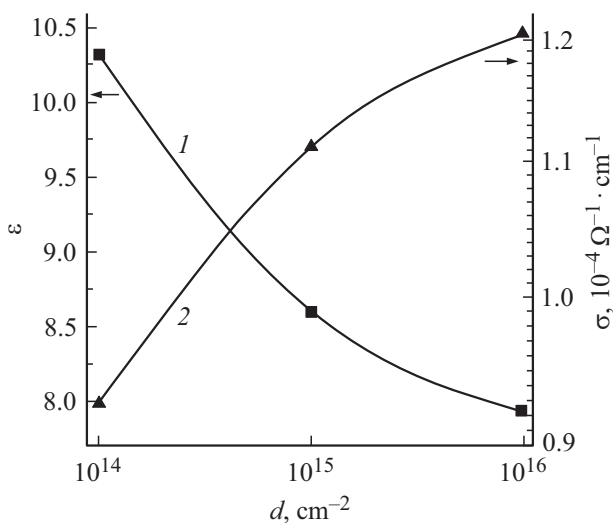


Рис. 4. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости монокристалла  $\text{AgGaSe}_2$  на частоте  $10^6 \text{ Hz}$  для различных доз электронного облучения: 1 — необлученный; 2 —  $10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ; 3 —  $10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

На рис. 2 представлены температурные зависимости удельной электропроводности монокристалла  $\text{AgGaSe}_2$  на различных частотах. На рис. 3 изображена кривая зависимости проводимости от температуры на частоте измерительного поля  $10 \text{ kHz}$ . Из рисунков видно, что значения  $\sigma$  увеличиваются с ростом температуры, что обусловлено ростом концентрации свободных носителей заряда (проявление полупроводниковых свойств). Участки с разным наклоном на кривых  $\sigma = f(T)$  указывают на сложный механизм переноса заряда и наличие нескольких типов проводимости в этих кристаллах.



**Рис. 5.** Температурные зависимости удельной электропроводности монокристалла AgGaSe<sub>2</sub> на частоте 10<sup>6</sup> Hz для различных доз электронного облучения: 1 — необлученный; 2 — 10<sup>15</sup> cm<sup>-2</sup>; 3 — 10<sup>16</sup> cm<sup>-2</sup>.



**Рис. 6.** Зависимости диэлектрических характеристик AgGaSe<sub>2</sub> от дозы электронного облучения на частоте 10<sup>6</sup> Hz при температуре 300 K: 1 — диэлектрическая проницаемость; 2 — удельная электропроводность.

Следует отметить, что у кристалла AgGaSe<sub>2</sub> наблюдается значительная дисперсия электропроводности. Значения проводимости в изученном интервале частот (10<sup>3</sup> Hz–10<sup>6</sup> Hz) изменяются более чем на три порядка. С ростом частоты измерительного поля значения  $\sigma$  сильно увеличиваются, что обусловлено релаксационными процессами, происходящими в высокочастотной области измерений.

На рис. 4 и 5 приведены температурные зависимости диэлектрической проницаемости и проводимости

монокристалла AgGaSe<sub>2</sub> для различных доз облучения на частоте измерительного поля 10<sup>6</sup> Hz. Температурные зависимости для других частот выглядят аналогично. На рис. 6 показаны зависимости диэлектрических характеристик AgGaSe<sub>2</sub> от дозы электронного облучения на частоте 10<sup>6</sup> Hz при температуре 300 K.

Из рисунков видно, что облучение монокристаллов пучком электронов приводит к уменьшению значений диэлектрической проницаемости и значительному возрастанию электропроводности во всей исследованной области температур. Такое поведение значений  $\epsilon$  под воздействием облучения электронами может быть вызвано радиационно стимулированным старением образцов, связанным с активизацией процесса миграции естественных дефектов под влиянием облучения, приводящим к снижению значений  $\epsilon$ . Причиной роста значений электропроводности  $\sigma$  монокристаллов соединений AgGaSe<sub>2</sub> является, скорее всего, увеличение концентрации дефектов и, как следствие, возрастания вклада примесной проводимости.

#### 4. Заключение

Проведены исследования влияния температуры на диэлектрическую проницаемость и электропроводность монокристаллов AgGaSe<sub>2</sub> на различных частотах измерительного поля в области температур 100–300 K. Показано, что с ростом температуры диэлектрическая проницаемость и электропроводность увеличиваются.

Установлено, что для кристаллов AgGaSe<sub>2</sub> характерно наличие нескольких типов проводимости. Обнаружена существенная частотная дисперсия электропроводности и диэлектрических свойств исследованных кристаллов.

Исследовано влияние электронного облучения на электрические свойства монокристаллов AgGaSe<sub>2</sub>. Установлено, что увеличение дозы облучения приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости и значительному возрастанию электропроводности во всей исследованной области температур.

#### Финансирование работы

Исследования проведены при поддержке Белорусского Фонда фундаментальных исследований (договор № Ф18УКА-002).

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Список литературы

- [1] B. Tell, H.M. Kasper. Phys. Rev. B **4**, 12, 4455 (1971).
- [2] Y. Cui, U.N. Roy, A. Burger, J.T. Goldstein. J. Appl. Phys. **103**, 12, 123514-1 (2008).
- [3] H.-W. Wang, M.-h. Lu. Opt. Commun. **192**, 3, 357 (2001).

Редактор К.В. Емцев