

Josephson effect of the superconducting van der Waals junction

Sungyu Park^a, Chang Il Kwon^{a,b}, and Jun Sung Kim^{*,a,b}

^a Center for Artificial Low Dimensional Electronic Systems, Institute for Basic Science, Pohang 790-784, Korea

^b Department of Physics, Pohang University of Science and Technology, Pohang 790-784, Korea

(Received 12 May 2021; revised or reviewed 21 May 2021; accepted 22 May 2021)

Abstract

Heterostructures fabricated by various combinations of van der Waals (vdW) materials enable us to investigate disorder-free physical properties and realize novel functional devices. Superconducting vdW junctions have attracted a lot of attention because of its simple structure without a barrier layer. In superconducting vdW junction, without extra fabrication effort, a natural barrier can be formed, whose character is sensitive to distance and angle of lattice between two superconducting vdW materials. Using high-quality single crystals and the dry transfer technique, we fabricated the vertically stacked NbSe₂/NbSe₂ and FeSe/FeSe vdW junctions and investigated their Josephson junction properties. We found that in the FeSe junctions, Josephson coupling is extremely sensitive to the fabrication conditions, in contrast to the NbSe₂ junctions. We attributed this distinct character of the FeSe junctions to surface instability and small Fermi surface of FeSe.

Keywords: superconductivity, josephson junction, van der waals junction

1. 서 론

기계적인 박리법(mechanical exfoliation)을 이용하여 흑연으로부터 그래핀(Graphene) [1]을 성공적으로 얻어낸 이후 그래핀 뿐만 아니라 다양한 반데발스(van der Waals, vdW) 물질을 이용한 2차원 물질 연구가 폭발적으로 진행되고 있다 [2,3]. vdW 물질은 기본적으로 2차원 원자배열을 가진 층으로 구성되어 있으며, 이러한 층이 약한 vdW 힘을 매개로 하여 3차원적으로 적층된 구조를 가지고 있다. 상대적으로 약한 vdW 힘만 이겨낸다면 두꺼운 시료에서 얇은 층을 분리할 수 있어 원하는 두께의 시료를 만들 수 있는데, 이러한 시료제작방법을 이용하면, 원자두께의 2차원 얇은 시료에서부터 3차원 두께까지 균질한 샘플을 연속적으로 만들 수 있다. 이를 통해, 결정성이 좋은 2차원 시료를 제작하여 2차원 전자계에서 발견되는 다양한 물리 현상을 연구하는 것이 가능해졌다. 또한 서로 다른 물질에서 박리된 vdW 박막을 이용하면 2차원 이종 접합을 만들 수 있는데, 이 접합은 원자수준으로 평평한 두 vdW 박막을 물리적으로 접합하기 때문에 무결점의 접합이 가능할 것으로 기대된다 [2,4,5]. 절연체, 위상절연체, 반도체, 초전도체, 자성체 vdW 물질들을 원료로 사용하면 무한한 조합의 접합 소자가 가능하며, 각각의 다른 접합에서 새로운 가능성은 하나하나 현실화되면서 흥미로운 결과들이 보고 되고 있다 [6].

다양한 vdW 접합 중에서 매우 흥미로운 특성이 보이는 접합은 동종의 초전도체로 이루어진 조셉슨 접합 (Josephson junction, JJ)이다 [7]. 초전도 성질을 보이는 2차원 NbSe₂ 결정에 또 다른 2차원 NbSe₂ 결정을 접합하게 되면, 동종의 물질을 다시 붙인 것이기 때문에 다시 단일한 NbSe₂ 결정으로 돌아가게 되는 것이 아닌가 하는 의문을 가지게 되지만, 보고된 결과를 보면 JJ로 작동하는 것을 확인할 수 있다. 이는 적층된 2차원 결정사이의 거리가 각도가 단일한 NbSe₂와 완전히 같을 수 없기 때문에 위, 아래의 박막이

서로 개별적인 초전도체로 거동하게 되고 그 둘 사이의 초전도 근접효과에 의해 JJ 효과가 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 이는 일반적인 JJ에 필요한 초전도체 사이를 갈라주는 벽(barrier)에 해당하는 요소를 vdW 접합의 구조자체가 만들어주고 있고, 벽을 만들기 위한 추가적인 공정없이 간단하게 JJ를 구현할 수 있음을 뜻한다. 이렇게 구현된 JJ를 통해서 초전도 틈(superconducting gap, Δ) 또한 성공적으로 측정할 수 있는 것으로 보고되었다.

우리는 이러한 장점을 가지고 있는 vdW 접합구조의 NbSe₂ JJ 효과를 재현하고 더 나아가 철(Fe) 기반의 초전도체인 FeSe를 이용하여 같은 JJ 소자의 특성을 연구하였다. FeSe는 철 기반 초전도체 중에 가장 간단한 형태로 $T_N \sim 90$ K에서 구조상전이 발생하고 $T_c \sim 9$ K에서 초전도 상전이 발생한다 [8,9]. 그리고 상압에서는 특별한 자기적 성질을 띄지 않지만 가압하게 되면 반강자성이 나타나게 되고 이때 초전도 상전이 온도도 증가하는 것으로 알려져 있다 [10]. 또한 높은 자기장에서 또 다른 위상이 발견되면서 초전도 원리에 대한 궁금증이 더해지고 있다 [11]. 초전도-자성 상관관계는 초전도원리에 있어 매우 중요한 요소이며 철 기반 초전도체는 이를 탐구하기 위한 좋은 예이다. 특히 FeSe는 이전에 기술했듯이 가장 기본적인 결정 구조를 가지며 자기성질이 없다가 압력을 가함에 따라 나타나는 특성으로 인해 초전도-자성 상관관계를 탐구하기에 이상적인 조건을 가지고 있다. 초전도 틈을 측정할 수 있는 방법은 여러가지가 있지만 다양한 극한 상황, 즉 고자기장, 고압에서 믿을만하게 잘 작동하는 방법은 흔치 않다. JJ를 이용한 초전도 틈 측정은 특정 초전도 틈을 선택적으로 측정할 수 없고 중시계적인 소자 크기로 인한 평균값 측정이라는 단점이 있음에도 불구하고 이런 극한 상황에서 실험이 가능한 것으로 여겨진다. 이번 실험은 FeSe JJ를 이용하여 다양한 극한환경에서의 실험을 수행하기 위한 사전단계이며 더 많은 초전도 vdW 접합으로의 확장을 꾀하기 위한 단계로서 그 의미를 갖는다고 할 수 있다.

* Corresponding author: js.kim@postech.ac.kr

2. 실험 방법

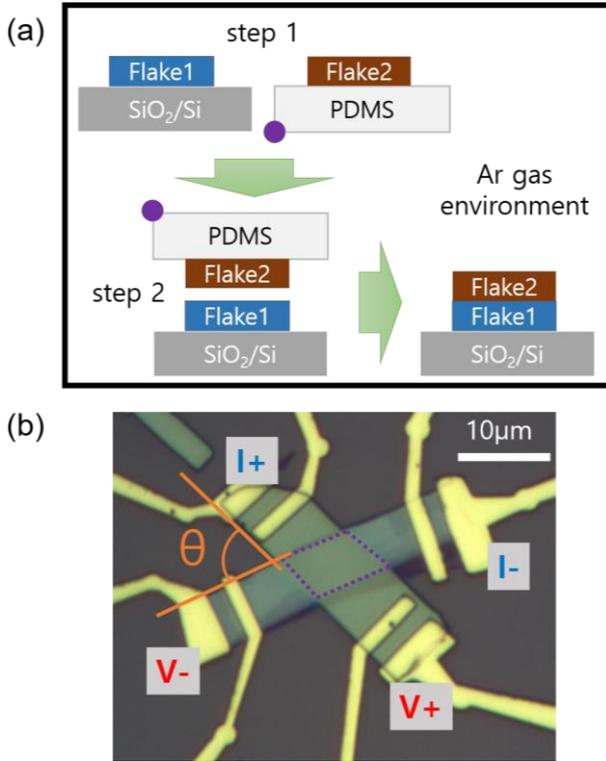


Fig. 1. (a) Schematic diagram of the device fabrication. (b) Optical image of the van der Waals junction with electrodes. 4-probe measurement configuration is displayed and junction area is indicated by purple lines.

vdW 접합을 만드는 과정을 보여주는 간략한 모식도를 Fig. 1(a)에서 확인할 수 있다. 실험에 사용한 NbSe₂와 FeSe 단결정들은 직접 생장하였고 두꺼운 단결정에서 20~50 nm 수준의 박막을 박리하기 위하여 기계적 박리법을 이용한다. 박리된 결정은 산소플라즈마 처리된 산화 실리콘 기판과 투명한 Polydimethylsiloxane (PDMS) 위에 옮겨진다(step 1). 현미경을 통해 옮겨진 많은 박막들중에 균일한 두께와 수 마이크로 미터의 길이와 폭을 가지는 목표 박막을 찾아낸다. 마이크로미터와 현미경으로 이루어진 전사장치(transfer stage)를 이용하여 PDMS 위의 박막을 산화 실리콘 기판 위의 박막 위로 옮겨 붙임으로써 vdW 접합을 완성한다(step 2). 이때 두 박막사이의 각도를 현미경상에서 확인하면서 원하는 각도로 붙이는 것도 가능하다.

지금까지 기술한 전 과정은 접합면의 산화를 막기 위해 아르곤가스로 채워진 글러브박스에서 진행하였다. 만들어진 vdW 접합을 글러브박스 밖으로 빼내서 Poly(methyl methacrylate) (PMMA) 코팅하고 시료의 손상을 막기 위하여 열처리 하지 않고 상온에서 말린 후에 전자 빔 리소그래피와 전자 빔 증착을 통해 Cr/Au 전극을 부착하였다. 이렇게 만들어진 소자는 Fig. 1(b)와 같은 형태이며, Physical Property Measurement System(PPMS)을 이용하여 원하는 온도, 자기장, 전류하에서 실험하였다. 윗 박막과 아랫 박막 각각 4-전극 측정을 수행하였고, 십자가 형태 소자의 특성상 4-전극 측정을 Fig. 1(b) 전극에 표시한 것과 같이 진행하면 순수한 접합 저항이 측정하였다. 이렇게 측정된 저항에 접합 면적(보라색 점선으로 표시된 영역)을 곱하면 접합의 비저항과 접합 거리에만 의존하는 물리값을 구할 수 있고 이를 통해 접합 간의 특성을 비교할 수 있었다.

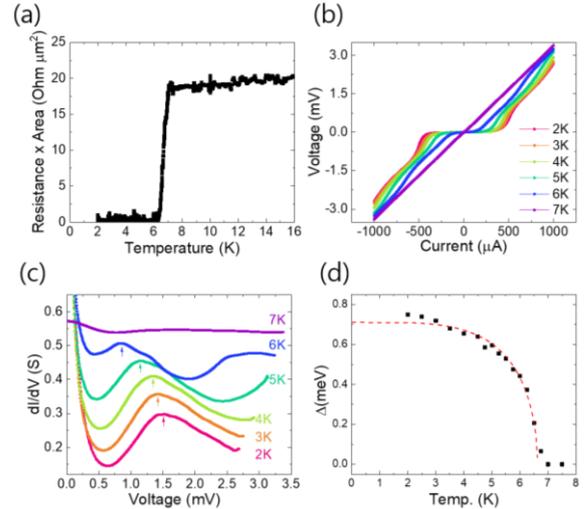


Fig. 2. Transport characteristics of of NbSe₂ Josephson junction. (a) Temperature dependence of junction resistance x area product. (b) *IV* characteristics at temperature 2 K to 7 K. (c) Differential conductance dI/dV as a function of voltage. Arrows point the peak of differential conductance. For clarity, the curves are offset vertically. (d) Temperature dependence of superconducting gap. Red line is BCS theoretical fitting.

3. 결과 및 논의

NbSe₂ 접합의 저온전도특성들을 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 접합 저항은 임계온도 $T_c = 6.3$ K에서 완전히 0이 되어 초전류가 흐르는 상태가 된다(Fig. 2(a)). 각각의 2차원 결정은 약간 다른 임계온도를 가지고 있는데 둘 중 더 낮은 임계온도를 가지는 결정이 초전도 상전이를 할때 접합 저항도 같이 0이 된다. 이때 2 K에서 7 K까지의 온도에서 전류-전압 곡선을 구해보면 Fig. 2(b)와 같다. +전류나 -전류에 대해서는 동일한 전압의존성을 보여주며, 전류측정 방향에 대한 이력현상은 관측되지 않았다. 온도에 따라 전압이 증가하기 시작하는 전류값이 점점 낮아지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 측정된 전류-전압 곡선을 이용하여 미분 전도도(dI/dV)를 전압에 따라 구한 결과 Fig. 2(c)에서 더 분명하게 확인해 볼 수 있다. 명확한 비교를 위하여 각 곡선은 위쪽으로 옮겨서 표시하였다. 이때 각 온도별로 화살표에 의해 표시된 전도도의 봉우리를 만드는 전압값은 초전도 틈에 2배에 해당하는 값으로 해석되며 이 값이 온도에 따라 체계적으로 감소함을 확인할 수 있고, 그 온도 경향성을 구해본 결과가 Fig. 2(d)이다. 이때 초전도 틈의 온도 의존성을 BCS 이론에 예측과 비교함으로써 측정된 초전도성이 BCS이론을 따르는지 확인할 수 있다. BCS이론에 따르면 초전도 틈의 온도의존성은 $\Delta(T) = \Delta(0) \tanh(2.2\sqrt{(T_c - T)/T})$ 로 근사적으로 볼 수 있으며, 빨간색 선으로 표시된 이론적 예측과 실험결과가 잘 일치함을 확인할 수 있다. 이를 통해 얻어낸 초전도 틈의 크기는 $\Delta(0 \text{ K}) \sim 0.71 \text{ meV}$ 임을 알 수 있다. NbSe₂는 여러 페르미면에서 두 개의 초전도 틈 [12- 14]의 크기가 존재할 것으로 예측되고 기존의 여러 실험을 통해 관측되었다. 이번 실험에서는 그 중 하나의 틈 구조에 대한 정보만 명확히 확인되었으며, 확인한 값은 두 개의 초전도 틈 중에 작은 값과 잘 일치하였다. 이는 기존에 보고된 NbSe₂의 vdW 접합의 결과와도 잘 일치하는 결과이다 [7].

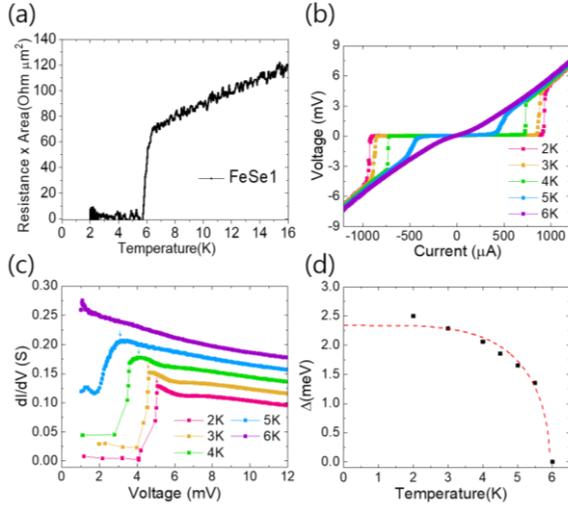


Fig. 3. Transport characteristics of FeSe Josephson junction. (a) Temperature dependence of junction resistance \times area product. (b) IV characteristics at temperature 2 K to 6 K. (c) Differential conductance dI/dV as a function of voltage. Arrows point the peak of differential conductance. For clarity, the curves are offset vertically. (d) Temperature dependence of superconducting gap. Red line is BCS theoretical fitting.

FeSe 접합에 대한 전도측정과 결과해석은 NbSe₂와 유사하게 진행되었다. Fig. 3에서 살펴보면, 임계온도 $T_c = 5.8$ K에서 접합 저항이 완전히 0이 됨을 확인할 수 있으며(Fig. 3(a)), 온도에 따른 전류-전압 곡선을 Fig. 3(b)에서 확인할 수 있다. 측정 가능한 전압을 발생시키는 전류값이 NbSe₂보다 조금더 높은 것을 확인할 수 있으며 더 급격하게 전압이 증가함을 확인할 수 있지만 이러한 현상은 시료에 따라 차이가 있어 물질의 특성에서 오는 것은 아닌 것으로 판단된다. Fig. 3(c)에서 전압에 따른 dI/dV 를 확인해보면 뾰족한 봉우리가 관측되는데, 이 때 봉우리를 만드는 전압값의 온도의존성을 Fig. 3(d)에서 확인할 수 있다. FeSe의 초전도 원리에 대해서는 많은 논의가 진행중이지만 가장 기본적인 이론인 BCS이론과 비교해보면 실험결과와 이론이 어느정도 일치하는 결과를 확인할 수 있다. 이를 통해 얻어낸 초전도 틈의 크기 $\Delta(0\text{ K}) \sim 2.2$ meV는 FeSe에 대한 주사 터널링 분광법(scanning tunneling spectroscopy) [15]으로 관측된 결과와 잘 일치한다. NbSe₂와 FeSe의 T_c 가 거의 비슷한데 반해 $\Delta(0\text{ K})$ 는 FeSe가 NbSe₂보다 3배정도 크다. 초전도 틈 비율 $\Delta(0\text{ K})/k_B T_c$, 여기서 k_B 는 볼츠만 상수를 구해보면 NbSe₂의 경우, 2.6으로 BCS 이론의 예측, 3.5와 유사한 반면, FeSe의 경우, 8.8로 예측 값을 크게 상회한다. 이를 통해 FeSe는 NbSe₂와 달리 초전도 강한 결합 영역에 있음을 확인할 수 있다.

20개 이상의 NbSe₂와 FeSe 접합 시료를 만드는 과정에서 대부분의 NbSe₂ 접합은 JJ 효과에 의한 초전류로 인하여 접합 저항이 임계온도 이하에서 0이 되는 현상이 잘 관측되는 반면에, FeSe 접합은 대부분의 시료가 위, 아래 박막은 각각 초전도 현상이 잘 관측되지만 접합 저항은 완전히 0이 되지 않는 현상이 관측되었다.

Fig. 4(a)에서 확인할 수 있는 것처럼 임계온도 근처에서 접합 저항이 일부 감소하긴 하지만 완전히 사라지지 않는 것을 확인할 수 있다. JJ 효과가 명확히 나타나는 시료의 경우 임계전류와 정상상태 접합저항의 곱($I_c R_n$)을 이용하여 접합의 특성을 평가할 수 있지만 JJ 효과가 명확히 나타나지

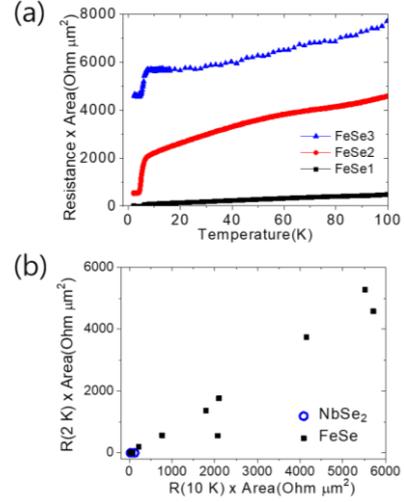


Fig. 4. (a) Temperature dependence of junction resistance \times area product with three FeSe samples. (b) 2 K junction resistance \times area product as a function of 10 K junction resistance \times area product of NbSe₂ and FeSe vdW junctions.

않는 경우, 접합의 특성을 평가하기 위하여 정상상태 접합저항, 여기서는 10 K의 접합저항과 접합면적의 곱($R(10\text{ K})A$)를 사용할 수 있고, 이 값은 접합의 비저항과 박막사이의 거리에만 의존하는 값으로 생각할 수 있다. Fig. 4(b)에서 확인할 수 있는 것처럼, NbSe₂ 접합의 경우 $R(10\text{ K})A$ 값이 균일하게 $100\ \Omega\mu\text{m}^2$ 이하로 관측되고 $R(2\text{ K})A$ 값은 0이 되는 반면, FeSe 접합의 경우, $80 \sim 5500\ \Omega\mu\text{m}^2$ 까지 넓은 범위의 $R(10\text{ K})A$ 값이 관측되며 시료 FeSe1처럼 낮은 $R(10\text{ K})A$ 를 이는 접합만 $R(2\text{ K})A$ 값이 0이 되고 그렇지 않은 경우 약간의 저항 감소만 발생하고 $R(2\text{ K})A$ 값이 0이 되지 않는다. 같은 방법과 조건에서 만든 FeSe와 NbSe₂ 접합에서 이러한 극명한 차이가 나타나는 것은 물질 고유특성에서 그 기인을 찾을 수 있을 것이다. 크게 두가지 요인을 고려해볼 수 있는데 첫째로는 박막 표면의 변형에 관한 측면이다. NbSe₂ 접합의 경우 아르곤 분위기의 글러브 박스 안에서 만들지 않고 산소와 수분이 존재하는 일반적인 상황에서 만들더라도 계면의 노출시간을 줄이면 $R(10\text{ K})A$ 값이 낮고 JJ 효과가 잘 관측되는 것으로 알려져 있다 [7,16]. 반면 FeSe의 경우 아르곤 분위기의 글러브박스에서 접합하더라도 넓은 범위의 $R(10\text{ K})A$ 를 보인다. 표면의 변형이 FeSe 접합의 높은 $R(10\text{ K})A$ 값의 원인이라면 산소와 수분을 배제하고 표면의 변형을 야기할 수 있는 요인으로 온도에 의한 요동을 고려할 수 있을 것이다. 시료 제작과정에서 온도를 상온이상으로 가열하는 과정은 없지만 상온이 이미 충분히 높은 온도로 작용하여 두꺼운 시료에서 얇게 박리되어 표면이 드러나는 순간, 상온의 온도 요동에 의해 표면의 격자구조가 변형되는 상황을 가정할 수 있다. 이러한 효과를 확인해 보려면 박막 박리와 접합 구성을 저온에서 수행하는 방법을 강구해 봐야한다. 이러한 외부 환경에 의한 표면 변형의 가능성과 별개로 FeSe의 위상적인 특성에 의한 표면 효과도 생각해 볼 수 있는데 FeTe_{0.55}Se_{0.45}의 경우 위상적인 계면상태가 보고되고 있어 내부 덩어리 특성과 다른 특성을 보이는 계면의 접합이 JJ 효과가 나타나는 것을 막을 가능성도 고려해 볼 만하다 [17].

두번째는 전자띠 구조(electronic band structure)의 각도의존성에 관한 측면이다. NbSe₂의 경우 브릴루앙 영역에서

Γ 점의 전자상태가 FeSe와 비교하여 등방적이고 면적도 크며, s 파동 초전도 틈을 가지고 있다 [13]. 이 때문에 윗 결정과 아랫 결정의 격자구조의 각도 차이가 있더라도 쿠퍼쌍(Cooper pair)이 투과할 수 있는 확률이 충분히 크게 존재한다. 또한 브릴루앙 영역의 K점에도 30도 간격으로 전자구조가 존재하기 때문에 낮은 확률이지만 이 지점들이 정렬될 확률도 일부 존재한다. 하지만 FeSe의 경우 브릴루앙 영역의 Γ 점의 구조가 매우 비등방적이고 상대적으로 그 영역이 좁으며, 초전도 원리자체도 s± 파동이나 d 파동 초전도 틈을 가지고 있는 것으로 예측되기 때문에 [8,15,18,19] 접합의 각도에 매우 민감할 수 있다. 또한 M점에 90도 간격으로 전자구조를 가지고 있어 이상태를 통해 쿠퍼쌍이 투과할 확률도 NbSe₂에 비해 상대적으로 낮다. 이러한 이유로 FeSe의 경우 NbSe₂와 다르게 잘 정의된 특정 각도에서만 쿠퍼쌍이 투과하여 JJ 효과가 나타나고 그렇지 않을 경우 효과가 나타나지 않을 수 있는 가능성이 존재한다. 이러한 측면을 고려하면 FeSe 접합의 JJ 특성을 향상시키기위하여 각도 의존성에 따른 접합 특성 평가가 필요해 보인다.

4. 요약

단결정의 덩어리 시료로부터 박리된 NbSe₂와 FeSe 박막을 이용한 동종 초전도 vdW 접합을 만들고 저온 전도특성을 통해 JJ 효과를 확인하였다. 각 물질의 초전도 틈을 측정하였으며 기존 결과와 잘 일치하는 것을 확인하였다. FeSe 접합의 경우 NbSe₂ 접합과 다르게 JJ가 구현되지 않는 경우가 다수 발생하는데 이는 NbSe₂와 구분되는 FeSe의 특성때문으로 보이며 일관성있는 JJ 구현을 위해서 저온 접합이나 접합 각도 의존성을 통한 향후 연구가 필요하다. 그럼에도 불구하고, 본 연구 결과는 FeSe 2차원 결정을 이용해 JJ가 잘 구현될 수 있음을 실험적으로 보인 첫 사례로서 그 의미를 갖는다.

REFERENCES

- [1] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov, "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films," *Science (80-)*, vol. 306, pp. 666, 2004.
- [2] K. S. Novoselov, A. Mishchenko, A. Carvalho, and A. H. Castro Neto, "2D Materials and van Der Waals Heterostructures," *Science (80-)*, vol. 353, 2016.
- [3] G. R. Bhimanapati, Z. Lin, V. Meunier, Y. Jung, J. Cha, S. Das, D. Xiao, Y. Son, M. S. Strano, V. R. Cooper, L. Liang, S. G. Louie, E. Ringe, W. Zhou, S. S. Kim, R. R. Naik, B. G. Sumpter, H. Terrones, F. Xia, Y. Wang, J. Zhu, D. Akinwande, N. Alem, J. A. Schuller, R. E. Schaak, M. Terrones, and J. A. Robinson, "Recent Advances in Two-Dimensional Materials beyond Graphene," *ACS Nano*, vol. 9, pp. 11509, 2015.
- [4] A. K. Geim and I. V. Grigorieva, "Van Der Waals Heterostructures," *Nature*, vol. 499, pp. 419, 2013.
- [5] Y. Liu, N. O. Weiss, X. Duan, H.-C. Cheng, Y. Huang, and X. Duan, "Van Der Waals Heterostructures and Devices," *Nat. Rev. Mater.*, vol. 1, pp. 16042, 2016.
- [6] Y. Liu, Y. Huang, and X. Duan, "Van Der Waals Integration before and beyond Two-Dimensional Materials," *Nature*, vol. 567, pp. 323, 2019.
- [7] N. Yabuki, R. Moriya, M. Arai, Y. Sata, S. Morikawa, S. Masubuchi, and T. Machida, "Supercurrent in van Der Waals Josephson Junction," *Nat. Commun.*, vol. 7, pp. 10616, 2016.
- [8] A. I. Coldea and M. D. Watson, "The Key Ingredients of the Electronic Structure of FeSe," *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.*, 2017.
- [9] C. I. Kwon, J. M. Ok, and J. S. Kim, "Anisotropic Superconductivity of High Quality FeSe_{1-x} Single Crystal," *Prog. Supercond. Cryog.*, vol. 16, pp. 26, 2014.
- [10] S. Medvedev, T. M. McQueen, I. A. Troyan, T. Palasyuk, M. I. Eremets, R. J. Cava, S. Naghavi, F. Casper, V. Ksenofontov, G. Wortmann, and C. Felser, "Electronic and Magnetic Phase Diagram of β -Fe_{1.01}Se with Superconductivity at 36.7K under Pressure," *Nat Mater.*, vol. 8, pp. 630, 2009.
- [11] J. M. Ok, C. Il Kwon, Y. Kohama, J. S. You, S. K. Park, J. Kim, Y. J. Jo, E. S. Choi, K. Kindo, W. Kang, K.-S. Kim, E. G. Moon, A. Gurevich, and J. S. Kim, "Observation of In-Plane Magnetic Field Induced Phase Transitions in FeSe," *Phys. Rev. B*, vol. 101, pp. 224509, 2020.
- [12] Y. Noat, J. A. Silva-Guillén, T. Cren, V. Cherkez, C. Brun, S. Pons, F. Debontridder, D. Roditchev, W. Sacks, L. Cario, P. Ordejón, A. García, and E. Canadell, "Quasiparticle Spectra of 2H-NbSe₂: Two-Band Superconductivity and the Role of Tunneling Selectivity," *Phys. Rev. B*, vol. 92, pp. 134510, 2015.
- [13] D. J. Rahn, S. Hellmann, M. Kalläne, C. Sohr, T. K. Kim, L. Kipp, and K. Rossnagel, "Gaps and Kinks in the Electronic Structure of the Superconductor 2H-NbSe₂ from Angle-Resolved Photoemission at 1 K," *Phys. Rev. B*, vol. 85, pp. 224532, 2012.
- [14] T. Dvir, F. Masee, L. Attias, M. Khodas, M. Aprili, C. H. L. Quay, and H. Steinberg, "Spectroscopy of Bulk and Few-Layer Superconducting NbSe₂ with van Der Waals Tunnel Junctions," *Nat. Commun.*, vol. 9, pp. 598, 2018.
- [15] C.-L. Song, Y.-L. Wang, P. Cheng, Y.-P. Jiang, W. Li, T. Zhang, Z. Li, K. He, L. Wang, J.-F. Jia, H.-H. Hung, C. Wu, X. Ma, X. Chen, and Q.-K. Xue, "Direct Observation of Nodes and Twofold Symmetry in FeSe Superconductor," *Science (80-)*, vol. 332, pp. 1410, 2011.
- [16] M. Kim, G.-H. Park, J. Lee, J. H. Lee, J. Park, H. Lee, G.-H. Lee, and H.-J. Lee, "Strong Proximity Josephson Coupling in Vertically Stacked NbSe₂-Graphene-NbSe₂ van Der Waals Junctions," *Nano Lett.*, vol. 17, pp. 6125, 2017.
- [17] P. Zhang, K. Yaji, T. Hashimoto, Y. Ota, T. Kondo, K. Okazaki, Z. Wang, J. Wen, G. D. Gu, H. Ding, and S. Shin, "Observation of Topological Superconductivity on the Surface of an Iron-Based Superconductor," *Science (80-)*, vol. 360, pp. 182, 2018.
- [18] T. Hanaguri, S. Niitaka, K. Kuroki, and H. Takagi, "Unconventional S-Wave Superconductivity in Fe(Se,Te)," *Science (80-)*, vol. 328, pp. 474, 2010.
- [19] Y. Bang and G. R. Stewart, "Superconducting Properties of the S[±]-Wave State: Fe-Based Superconductors," *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 29, pp. 123003, 2017.